차 례

머리말

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《화학교육에서 실험실습은 생명과 같습니다. 실험실습을 하지 않으면 산지식을 소유할수 없습니다.》

자연과학의 다른 모든 분야들과 마찬가지로 화학도 역시 실험과학이다.

화학에서 실험은 사물현상의 본질을 깊이 리해할수 있게 하며 화학제품생산과 생산현실을 정확히 리해하고 그 공정을 합리화하며 완성시키기 위한 과학기술적문제들을 푸는데 필요한 기술과 능력을 준다.

리론수업만으로는 사물현상의 본성을 잘 인식할수 없다. 때문에 학생들은 실험을 해보아야 확고하고 풍부한 지식을 습득할수 있고 혁명과 건설에 쓸모있는 산지식을 소유할수 있다.

이것은 학교교육과정의 실험실습을 통해서 마련된다.

화학실험에서는 실험조작법대로 깨끗하고 정밀하게 실험하여야 정확한 실험결과를 얻을수 있다.

《화학실험의 기초》에서는 화학실험기구일반과 실험의 매동작에 대한 정확한 조작순서를 주고 이에 기초하여 자체로 능히 습득할수 있게 일반지식을 위한 실험과 전문지식을 위한 실험을 배합하여 주었다.

학생들은 경애하는 **김정일**장군님의 강성국가건설구상을 높이 받들고 주체적인 화학공업을 빨리 발전시키는데 필요한 가장 초보적인 기초실험수법을 습득하기 위하여 꾸준히 노력해나가야 한다.

제1장. 화학실험을 할 때 알아야 할 점과 실험기구 및 기초조작

제1절. 화학실험에서 반드시 지켜야 할 내용

1) 실험을 깨끗이 하여야 한다.

실험을 하는데서 가장 중요한것은 실험을 깨끗이 하는것이다.

가령 비커나 플라스크같은것을 언제나 깨끗이 해놓지 않으면 급히 필요할 때 쓸수 없으며 깨끗하지 않은것을 그대로 쓰면 애써 정제한 시약을 더럽혀 실험이 잘 되지 않을수 있다.

화학실험은 원래 순서를 정확히 지켜야 하기때문에 실험을 깨끗이 하려면 조급하게 서두르지 말고 차근차근 하여야 한다.

시험관을 잘 보지 않고 액체를 넣거나 실험대우에 인화성물질이 들어있는 병을 놓은채 실험을 하지 말아야 한다.

화학실험에서의 실패의 대부분은 《시끄럽다》고 하여 손쉽게 하려는데서 생긴다.

실험을 하느라면 어쨌든 실험대우에 여러가지 물건을 놓게 되며 그때문에 실험대가 무질서해지는 경우가 많다.

좁은 실험대우를 정리하자면 사방 약 30cm의 고무판이나 될수록 불붙지 않는 가소물 또는 높이가 그리 높지 않은 차판을 놓고 그것을 항상 깨끗이 하고 실험에 필요한 기구만을 두어야 한다.

실험실, 실험대, 실험기구 등은 언제나 깨끗하게 정리하고 관리해두어야 한다.

2) 실험일지는 반드시 제때에 정리해야 한다.

실험일지를 일정한 시간 지난 다음 몰아서 한꺼번에 정리하려면 반드시 놓치는 내용이 생기는 법이다. 그러므로 매일 매시각 실험과정에 측정한 실험자료값들과 반응진행과정에 관찰한 내용들을 빠짐없이 기록해두었다가 하루의 실험을 끝내고는 그것을 꼭 정리하여야 한다.

3) 실험중에는 실험대에서 떠나지 말아야 한다.

실험중에는 반응진행과정을 끊임없이 관찰하는것이 필요하다. 실례로 학생이 실험에서 《100℃에서 2시간동안 가열한다.》라고 실험지도서에 씌였다고 하여 온도를 100℃로 하고 2시간동안 실험실을 비우는것은 정확한 실험으로 되지 못한다. 이 2시간동안에 반응진행과정을 세밀히 관찰할 때에만 실험의 진수를 체득할수 있다. 반응조건을 일정하게 해놓은것같지만 실내온도의 변화와 같이 반응조건이 일정하지 않기때문에 항상 반응상태를 관찰하지 않으면 실험기록을 정확하게 할수 없다.

4) 물건을 버릴 때 주의하여야 한다.

필요없는것을 버릴 때에는 거듭 주의해서 그것이 필요없는것인가를 확인한 다음 버려야만 한다.

버리는 일은 언제나 할수 있으나 일단 버리면 다시 회수하기 힘들다.

그러므로 반드시 다른 그릇에 넣었다가 그것을 버려도 일없다는것이 확인된 다음에 처리해야 한다.

또한 휴지통에는 먼저 무엇을 버렸는지 모르므로 거기에 그것과 반응하면 불이 난다든가 폭발을 일으킬수 있는것들을 버리면 큰 사고가 날수 있다는것을 명심하여야 한다.

성냥의 불티나 린 같은 발화성물질, 물과 접촉하여 불붙거나 열을 내는것(Na, 생석회) 등은 방안의 휴지통에 버려서는 절대로 안된다.

아래에 보통 화학시약을 혼합하였을 때 무서운 결과를 가져올수 있는 몇가지 실례들을 주었다.

아래에 적은것들은 혼합되면 그 량과 조건에 따라 폭발하거나 불이 날수 있는것들이다.

질산과 에틸알콜과 수은: 뢰홍이 된다.

질산과 에틸알콜과 은: 뢰산은이 된다.

회수한 은으로 질산은을 만들고 에틸알콜로 세척할 때 폭발한 례가 있다.

요드팅크와 암모니아: NI_3, NI_3NH_3 등이 된다.

황린과 알카리: 가성소다수용액과 황린이 가열되면 린화수소가 생기고 자연발화된다.

염소산칼리움과 짙은 류산
염소산칼리움과 암모니움염류

5) 불이 났을 때 어떻게 할것인가

화학실험실에서는 주의하지 않으면 화재가 일어날수 있다는것을 항상 명심해야 한다.

만일 화재가 일어나는 경우 실험실이 타지 않을 건축물이고 천정만 높으면 결코 덤빌 필요가 없다. 화재가 나면 알콜등(또는 가스버너)의 불을 끈 다음 불붙는 주위에 인화성물질이 있으면 그것을 멀리 옮기고 모래로 덮는것이 가장 좋다.

덤비면 오히려 불이 크게 번질수 있다.

비상용으로는 사염화탄소가 들어있는 소화기를 쓰는것이 제일 좋다. 그러나 가까운곳에 나트리움같은것이 있으면 사염화탄소를 쓰지 말아야 한다.

사염화탄소도 모래도 없을 때에는 클로로포름이나 탄산수소나트리움을 뿌려도 된다. 비상용으로 사염화탄소와 탄산수소나트리움은 언제나 가까이에 놓아두어야 한다.

몸이나 옷에 불이 붙었을 때에는 침착하게 바닥에 누워 딩구는것이 제일 좋다. 덤비면서 뛰여다니면 점점 더 불길이 커지게 되며 구원하려는 사람도 손쓸수 없게 된다.

6) 산이나 알카리를 떨어뜨렸을 때에는 어떻게 할것인가

산을 떨어뜨렸을 때에는 물로 씻고 탄산수소나트리움용액, 탄산나트리움용액, 암모니아수, 석회수 등을 부어 중화시킨 다음 씻어내야 한다. 떨어뜨린 곳이 알카리의 작용으로 상할수 있는 경우에는 붕산수, 비누물 등을 부으면 된다.

옷에 산이 묻었을 때에는 묽은 암모니아수를 솜이나 천에 묻혀가지고 그 부분을 재빨리 적신 다음 물로 씻으면 대체로 변색하지 않는다.

알카리를 떨어뜨렸을 때에는 산으로 씻으면 된다. 어느 정도 산성으로 되게 씻은 다음 우에서 지적한 약한 알카리로 씻으면 된다. 싱아산이나 초산으로 씻으면 덜 상하게 된다.

7) 부상 또는 화상당했을 때에는 제때에 응급처치를 하여야 한다.

실험실에서는 뜻하지 않게 큰 상처를 입을수 있다. 급할 때에는 당장 응급처치를 하여야 한다.

유리에 의한 부상. 손바닥이나 손가락에 상처를 입어 피가 나올 때에는 그 부분을 과산화수소로 씻은 다음 지혈제(1~5% 염화제2철용액 등)를 바르고 붕대를 감으면 된다.

상처에 유리쪼각이나 기타 다른것들이 박혀서 출혈이 심하면 곧 의사에게 보여 처치를 받아야 한다.

유리쪼각이 눈에 들어갔을 때. 유리는 잘 보이지 않기때문에 《눈씻는병》 또는 세척병의 물로 계속 씻어내는것이 좋다. 그래도 유리가 나오지 않을 때에는 안과의사에게 보여야 한다.

산, 알카리에 의한 부상. 산성물질이 피부나 점막에 묻었을 때 0.1~0.2% 탄산수소나트리움용액 또는 1~2% 붕산수로 잘 씻고 그 다음에 물로 씻는다. 알카리는 부식성이 세기때문에 산의 경우보다 처리하기 힘든데 묽은 알카리인 경우에는 붕산수로, 센 알카리인 경우에는 극히 묽은 초산으로 재빨리 씻는다. 씻는 정도는 붉은 리트머스지를 가져다 될 때 검푸른빛이 나지 않으면 된다. 그 이상 씻으면 산에 의해 오히려 피해를 받을수 있다. 심한 경우에는 의사에게 보여야 한다.

화상. 중성의 뜨거운 액체라든가 기타에 의해 화상을 입었을 때 정도가 가벼우면 팅크유(아연화와 올리브기름의 혼합물) 이것이 없으면 임의의 식물성기름을 바르고 찬물에 적신 수건으로 싼다.

넓은 부위로 심한 화상을 입었을 때(알콜이나 벤졸을 뒤집어쓴 상태에서 불이 붙었을 때)에는 우와 같은 방법으로 응급처치를 하고 피부가 벗겨진 곳에는 3% 탄닌산용액을 바른 다음 이 용액으로 적신 천을 대고 병원에 가는것이 좋다.

뜨거운 산, 알카리액에 의해 화상을 입었을 때에는 《산, 알카리에 의한 부상》때와 같은 방법으로 화상처치를 하여야 한다.

황린에 의한 화상. 피부에 묻은 황린은 될수록 핀세트로 집어내고 따뜻한 5% 탄산수소나트리움으로 잘 씻은 다음 묽은 질산은용액을 바르고 흔히 하는 화상처리를 한다.

8) 갈아맞춤을 한 유리기구를 쓰는 방법

갈아맞춤을 한 유리기구는 보다 조심스럽게 다루어야 한다.

유리기구는 잘 갈아맞춘것일수록 밀착되여 떨어지지 않는다. 갈아맞춘 마개는 틀어넣어서는 안된다. 갈아맞춘것을 실험에 사용했을 때에는 실험한 다음 더워진것을 될수록 아주 식기 전에 뽑는것이 좋다. 또

한 실험장치를 조립할 때 갈아맞춘 부분에 무게가 걸리지 않게 집게로 잘 고정시키는것이 좋다.

9) 갈아맞춤을 한 유리마개가 밀착되여 잘 떨어지지 않을 때의 처리

갈아맞춤을 한 밀착된 병마개를 떼는것은 좀 무리한 일이므로 만일 병이 깨여져도 손이 상하지 않도록 천으로 병을 싸고 그 다음에 조작을 하여야 한다.

① 갈아맞춘 마개를 지나치게 세게 막았을 때 또는 꽂는 쪽이 더워져서 팽창되여 움직이지 않게 되였을 때에는 갈아맞춘 부분을 외부로부터 가열하면 많은 경우에 빠져나온다.

② 수증기나 알카리, 린산 등이 오래동안 갈아맞춤한 곳에 작용하면 물유리와 같은것이 생겨서 붙어버린다. 이렇게 된것은 가열할수록 굳어지므로 석유와 같이 짬에 스며들기 쉬운것에 몇분동안, 때로는 며칠간 담그어두면 대체로 빠진다.

③ 시약병마개가 빠지지 않을 때에는 마개의 손잡이가 세로 평평한것인 경우 그것이 들어갈수 있는 어떤 짬에 마개를 꽂아넣고 병을 돌린다든가 또는 마개에 적당한 두께의 굳은 나무쪼각을 대고 이것을 끈으로 고정시켜서 나무쪼각을 돌리면 된다.

병마개가 넙적하고 둥근것이라면 병의 동체를 량손으로 쥐고 병을 돌리면서 마개를 실험대 한 끌에 가볍게 두드리고 다음에 마개가 꽂혀있는 병아구리를 같은 방법으로 두드리면서 마개와 아구리부분을 번갈아 근기있게 계속 두드린다.

또는 병을 왼손의 엄지손가락과 셋째 및 넷째 손가락 그리고 새끼손가락으로 잡고 둘째 손가락으로 마개의 우를 가볍게 누르고 나무망치로 마개의 끌을 아래에서 우를 향해 가볍게 몇번 두드리면서 병을 돌린다.

④ 껍진한 유기질때문에 붙었을 때에는 우의 방법으로 하든가 그을음이 나는 불길로 병아구리를 가열하고 책상끌에 마개의 측면을 가만히 두드리면 된다. 그렇지 않으면 마개와 병아구리사이에 스포이드로 10~20% 수산화나트리움용액을 1~2방울 떨어뜨리고 병을 돌리면서 갈아맞춤한 부분의 바깥쪽을 작은 그을음이 나는 불길로 아주 약하게 가열한다.

⑤ 불길을 쓰는것이 위험할 경우에는 더운 물에 담그었던 천을 병모가지에 감는다.

10) 고무마개에 꽂은 유리관이 빠지지 않을 때의 처리

줄칼손잡이의 끝을 유리관과 고무사이에 꽂아넣고 줄칼을 비비면 유리에서 고무가 붙은 부분이 떨어진다. 물 몇방울을 짬사이에 떨어뜨리고 우와 같은 조작을 유리관의 바깥둘레를 따라 차례차례 해나간다.

제2절. 화학실험기구 및 기초조작

1) 시험관

시험관은 적은 량의 시약으로 액체, 고체, 기체물질의 간단한 화학반응을 일으켜 그 현상을 관찰하는데 쓰는 기구이다.

시험관의 종류에는 보통시험관, 눈금있는 시험관, 반미량시험관, 원심분리시험관, 볼록시험관, 가지달린시험관이 있다.(그림1-1)

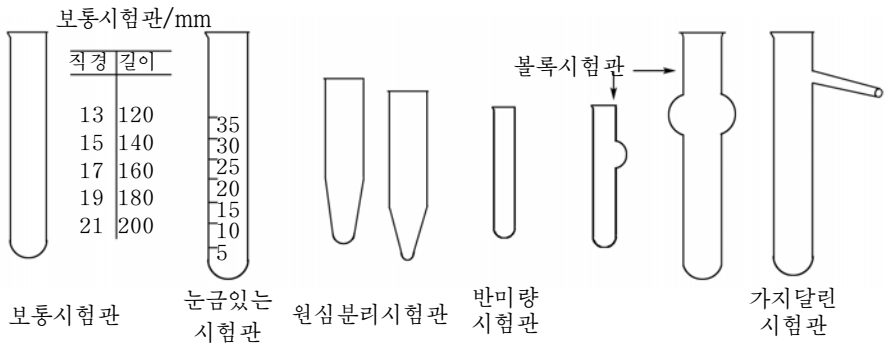



그림 1-1. 시험관의 종류

시험관 잡는 법. 왼손의 첫째, 둘째, 셋째 손가락으로 시험관웃부분을 잡는다.

시험관중간을 잡지 말며 특별한 경우를 제외하고는 오른손으로 잡지 말아야 한다.

시험관에 액체시약을 넣는 법. 완손으로 시험관을 잡고 오른손으로 시약병의 이름표가 손바닥에 닿도록 잡는다. 왼손에 시험관을 감아쥐고 왼쪽 첫째 손가락과 둘째 손가락으로 병마개를 뽑는다. 왼손으로 시험관과 병마개를 쥔 상태에서 시험관에 시약을 부어넣는다. 맺힌 용액방울을 병마개로 묻혀내고 마개를 막는다. 이때 부은 용액의 량은 시험관높이의 1/3을 넘지 말아야 한다. 시약병은 다시 제자리에 놓는다.

여기서 주의할것은 시약을 시험관에 부어넣을 때 용액이 시험관안벽을 따라 흘러내리게 하여야 하며 시험관이나 시약병의 바깥쪽으로 흘러넘치게 하지 않는것이다.

시험관에 고체시약을 넣는 법. 덩어리시약인 경우 시험관을 눕히고 시약덩어리를 약숟가락끝으로 밀어넣는다. 다음 시험관을 세우고 약숟가락을 뽑는다. 시험관을 곧추 세우고 덩어리시약을 넣으면 시험관밑이 깨여질수 있기때문에 주의하여야 한다.

가루시약인 경우에도 덩어리시약을 넣을 때처럼 약숟가락의 가는 부분으로 넣는다. 만일 가루시약이 잘 마른것이고 흩어지기 쉬운것이라면 필림이나 종이를 길게 한번 접어서 쓸수 있다. 시약을 넣는 방법은 우에서와 같다.

시험관에 기체를 채우는 법. 공기보다 가벼운 기체일 때에는 시험관아구리가 밑에 오도록 거꾸로 세워 기체를 채우고 첫째손가락으로 막는다. 공기보다 무거운 기체는 시험관을 바로 세우고 채운 다음 손가락으로 막는다.

시험관을 가열하는 법. 시험관을 시험관집게로 잡는다. 이때 시험관집게는 시험관밑으로부터 웃부분으로 올라가면서 잡는다.

시험관을 경사지게 하고 약한 불에서 미리 가열한 다음 시험관을 흔들면서 가열한다. 기포가 나오기 시작하면 약한 불에서 가열한다.

가열하는 순서를 보면 용액의 우에서부터 아래로 차례로 내려가면서 가열한다. 용액면경계부분을 가열하면 시험관이 깨여진다. 가열할 때 시험관의 각도는 45° 이며 절대로 수직으로 곧추 세워 가열하지 말아야 한다.

또한 가열할 때 용액의 량은 시험관에 1/3의 높이로 되여야 하며 액체가 시험관의 1/2높이를 넘으면 가열할수 없다.

가열할 때 시험관은 불길높이의 2/3위치에 놓여야 한다. 너무 불길가까이에 있으면 잘 가열되지 않는다.

가루시약을 가열할 때에는 시험관의 각도를 30° 로 하고 용액을 가열할 때와 마찬가지로 한다. 걸죽한 액체는 시험관에서 가열하면 안된다.

잠간 가열할 때에는 손으로 시험관을 직접 잡고 가열할수 있으며 가열할 때 시험관아구리는 절대로 사람에게 향하지 않도록 하여야 한다.

시험관집게는 시험관우에서부터 아래로 내려오면서 뽑아야 한다.

시험관을 흔드는 법. 약하게 흔드는 경우 왼손으로 시험관을 잡고 그

대로 흔든다. 좀 세게 흔들 때에는 오른손 둘째손가락으로 시험관을 쳐서 흔든다. 매우 세게 흔들어야할 때에는 오른손으로 시험관을 옮겨잡고 좌우로 세차게 흔든다.

시험관아구리를 손가락으로 막고 흔들지 말아야 한다.

용액의 량이 시험관높이의 1/3일 때에는 흔들어도 되나 1/2이상일 때에는 흔들지 말아야 한다.

이때에는 유리막대기로 아래우로 저어준다.

시험관 씻는 법. 시험관은 반드시 씻는대우에서 씻어야 한다. 먼저 탄산소다와 물로 시험관의 바깔부터 씻고 시험관안에 탄산소다를 뿌린다. 탄산소다는 가루가 시험관안벽에 약간 묻도록 뿌린다. 다음 세척솔끝이 시험관밑바닥에 약간 닿도록 넣는다.

왼손으로는 시험관아구리를 보호하며 오른손바닥은 튀여나는 물방울을 막으면서 동시에 세척솔을 비벼도 솔이 시험관바닥에 닿지 않게 세척솔을 좌우로 돌리면서 아래우로 닦는다. 물로 시험관안팎을 씻고 마지막으로 증류수로 씻는다.

잘 씻어진것은 물이 고르롭게 흘러내리지만 잘 씻어지지 않은것은 물방울이 맺힌다. 시험관이 잘 씻어지지 않았으면 우선 류산을 넣고 가열한다. 그래도 안되면 짙은 가성소다용액을 넣고 가열하며 그래도 안되면 탄산나트리움과 류산의 혼합액을 넣고 가열한다.

세척제로는 비누, 탄산나트리움(Na_2CO_3), 린산나트리움(Na_3PO_4), 류산(H_2SO_4), 과망간산칼리움($KMnO_4$은 산성용액으로 풀어서 쓴다.) 가성소다(NaOH-짙은것), 크롬산혼액을 쓴다.

씻은 시험관은 물기를 없앤 다음 시험관대에 꽂아서 말리운다.

2) 비커

비커는 액체물질을 다루거나 시료분해, 침전물앉히기 및 간단한 화학반응을 해보는데, 적은 량의 시약을 가지고 실험하는데 쓴다.

비커에는 넓고 낮은 비커, 좁고 높은 비커, 원추형비커, 사기비커 등이 있다.(그림 1-2)

비커를 잡는 법. 왼손으로 비커의 웃부분을 감아잡는다. 비커의 중간을 잡거나 오른손으로 잡지 말아야 한다.

비커에 시약을 넣는 법. 비커에 액체시약을 부어넣을 때 먼저 왼손 첫째 둘째 손가락으로 시약병마개를 열고 손에 그대로 잡은 상태에서 실

험대우에 놓인 비커벽을 따라 용액이 내려가도록 넣고 용액방울을 병마개로 묻혀낸다. 이때 용액의 량이 비커높이의 2/3를 넘으면 안된다. 다음 병마개를 막고 시약병은 제자리에 놓는다.

넓고 낮은 비커

체적/mL	250	400	600	800	1 000
직경/mm	67	75	85	94	100
높이/mm	90	115	140	161	175

좁고 높은 비커

체적/mL	50	100	150	300	500	800
직경/mm	40	45	53	67	75	86
높이/mm	60	90	95	118	150	190

그림 1-2. 비커의 종류

비커에 덩어리시약을 넣을 때에는 비커를 약간 눕혀서 약숟가락으로 넣는다.

덩어리시약을 손으로 집으면 안되며 우에서 곧바로 비커를 바로 세우고 곧추 떨구어넣으면 비커의 밑바닥이 깨여질수 있다.

비커에 가루시약을 넣을 때에도 비커를 약간 눕혀서 약숟가락으로 비커안쪽에 들이밀어 넣는다.

비커에 기체를 받을 때 공기보다 무거운 기체이면 비커를 바로 세우고 기체유도관이외는 유리판으로 덮는다. 공기보다 가벼운 기체는 비커를 아구리가 밑에 오도록 거꾸로 세워 받는다. 기체를 받을 때 비커를 경사지게 하면 기체가 확산해나간다.

비커를 가열하는 법. 작은 비커를 간단히 가열할 때에는 약한 불에서 먼저 가열하고 점차 센불로 가열한다. 비커밑에 물방울이 있거나 비커가 기울어지게 하고 가열하면 깨여질수 있다.

용액의 량은 비커높이의 1/3이 안되게 하여야 하며 용액이 많으면 손으로 들고 가열할수 없고 용액이 너무 적어도 가열할수 없다. 이런

경우에는 둘다 모래욕에서 가열하는것이 안전하다.

큰 비커를 가열할 때에는 고정대에 쇠그물을 깔고 그 우에 비커를 올려놓는다. 비커밑을 닦고 놓아야 하며 그 다음 알콜등을 들고 약한 불로 미리 가열한다. 알콜등을 적당한 위치에 놓고 비커안의 용액을 유리막대기로 젓는다. 용액의 량이 2/3높이를 넘으면 저을수 없다. 오래동안 저어야 할 경우에는 교반기를 쓴다.

큰 비커를 옮기는 법. 뜨겁지 않은 액체가 들어있을 때에는 두 손으로 비커의 웃부분을 쥐고 옮긴다. 뜨거운 액체가 들어있을 때에는 마른 수건이나 마른 걸레로 감싸쥐고 옮긴다. 비커를 한손으로 옮기거나 뜨겁다고 하여 한쪽 끝부분을 쥐고 옮기는 경우 깨여질 위험이 있다.

비커를 씻는 법. 씻는 방법은 시험관을 씻을 때와 같다. 작은 비커는 손에 들고 씻어도 되지만 큰 비커는 반드시 씻는대열에 있는 실험대우에 놓고 씻는다. 씻은 비커는 말림대우에서 말리워 보관한다.

3) 플라스크

플라스크에는 둥근밑플라스크, 평밑플라스크, 삼각플라스크가 있다.(그림 1-3)

아구리가 좁고 목이 긴것

체적/mL	100	250	500	750	1000	2500
둥근곳직경/mm	65	87	109	124	136	195
목의 길이/mm	86	97	139	152	162	203
아구리직경/mm	23	23	28	28	28	38

아구리가넓고목이짧은것

체적/mL	250	500	750	1000	1500	5000
둥근곳직경/mm	87	109	124	136	155	235
목의 길이/mm	37	44	52	58	58	90
아구리직경/mm	23	28	28	28	38	47

아구리가 좁고 목이 짧은것

체적/mL	250	500	750	1000	1500	5000
둥근곳직경/mm	87	109	124	136	155	235
목의 길이/mm	37	44	52	57	58	70
아구리직경/mm	38	38	38	47	67	67

그림 1-3. 플라스크의 종류

둥근밑플라스크는 액체물질의 증류, 끓이기, 또는 가열하면서 반응시키는데 쓴다.

평밑플라스크는 액체물질을 보관해두거나 취급하는 조작에 많이 쓰이며 여러가지 기구 및 장치를 꾸미는데 쓴다.

삼각플라스크는 적정실험에 주로 쓴다.

플라스크에 액체시약을 넣는 법. 플라스크밑에 똬리를 받쳐놓고 깔때기를 꽂는다. 병마개를 뽑아서 왼손에 들고 오른손으로 시약을 깔때기벽을 따라 부어넣는다.

맺힌 액체방울을 병마개로 묻혀내고 병마개를 막아 병을 자기 위치에 놓는다.

아구리가 넓은 플라스크에는 깔때기없이 시약을 부어넣는다.

병마개를 바닥에 놓아서는 안되며 플라스크밑바닥에는 똬리를 반드시 놓아야 한다. 부득이 하게 똬리가 없을 때에는 왼손으로 플라스크와 병마개를 잡고 시약을 부어넣는다. 다음 병마개로 액체방울을 묻혀내고 병마개를 막는다.

플라스크에 고체시약을 넣는 법. 가루시약을 넣는 경우 약숟가락이 긴 것이 있을 때에는 직접 그것을 안에 들이밀어 넣는다. 그것이 없을 때에는 종이를 아구리크기만큼 동그랗게 말아 끼우고 시약을 넣은 다음 종이를 뽑는다. 시약을 넣을 때 플라스크벽에 묻히면 안된다.

덩어리시약을 넣는 경우 플라스크를 기울이고 시약을 유리막대기로 하나씩 밀어넣는다. 시약을 다 넣은 다음 플라스크를 바로 세운다. 덩어리시약을 플라스크에 곧추 떨구어넣으면 깨여질수 있다.

플라스크를 가열하는 법. 고정대에 쇠그물을 깔고 그 우에 플라스크를 올려놓아 고정시킨다. 처음에는 약한 불로 플라스크를 가열하다가 점차 센불로 가열한다.

플라스크를 쇠그물없이 직접 가열해서는 안된다. 가열할 때 갑작끓음을 막기 위하여 유리모세관이나 끓음돌(비석)을 같이 넣고 가열한다. 끓음돌로는 구멍이 많은 막구이사기나 벽돌쪼각을 쓰며 모세관 또는 끓음돌은 잘 씻어 말리운 다음 쓴다.

플라스크에 넣는 용액의 량은 1/2높이 아래여야 한다.

플라스크를 안전하게 가열하기 위해서는 모래욕, 물욕, 기름욕, 공기욕을 쓴다.

을 모래욕은 끓음점이 높은 물질을 가열하는데, 물욕은 끓음점이 낮은 물질을 가열하는데 쓴다.

평밑플라스크나 삼각플라스크는 가열하면 안된다.

둥근밑플라스크는 유리의 두께가 고르로워서 가열해도 깨여지지 않지만 평밑플라스크는 유리의 두께가 고르지 않아서 가열하면 유리가 두꺼운 부분이 금이 가면서 깨여질수 있다. 그러나 평밑플라스크로 만든 세척병은 마개를 뽑고 물욕에서 가열할수 있다.

플라스크를 씻는 법. 시험관을 씻는 방법과 같다. 플라스크안의 둥근 부분을 씻으려면 려지쪼박이나 헝겊, 물을 조금 넣고 흔들어 씻으면 된다.

4) 메스실린더

메스실린더는 액체의 체적, 밀도 등을 측정하는데 쓰는 기구이다.

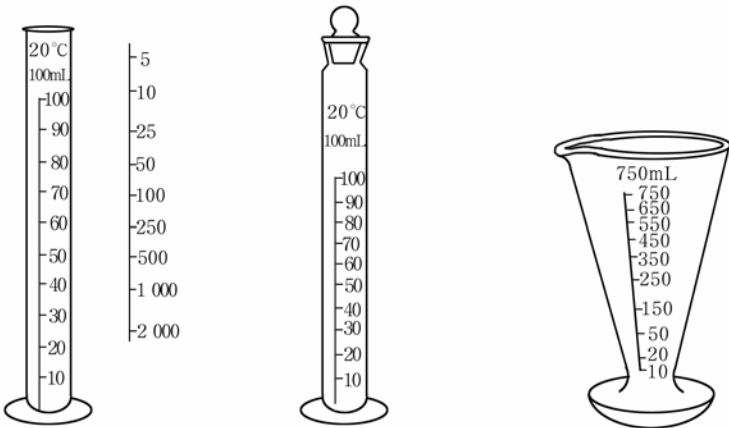
메스실린더에는 보통메스실린더, 마개가 있는 메스실린더, 원추형 메스실린더가 있다.(그림 1-4)

보통메스실린더　　마개가 있는 메스실린　　원추형 메스실린더

그림 1-4. 메스실린더의 종류

메스실린더에 액체를 부어넣는 법. 메스실린더를 실험대우에 놓고 시약을 메스실린더벽을 따라 흐르도록 부어넣는다. 해당한 체적까지 눈금을 보면서 부어넣는다. 실린더를 들고 액체를 부어넣거나 손으로 들고 눈

금을 맞추지 말아야 한다. 또한 눈금을 맞출 때 액체를 너무 많이 넣었다가 쏟아내면서 하는 현상이 없어야 한다.

눈금은 수평으로 직선 보아야 하며 액면의 밑부분 눈금을 읽어야 한다. 색이 있는 용액인 경우에는 액면의 웃부분 눈금을 읽는다.

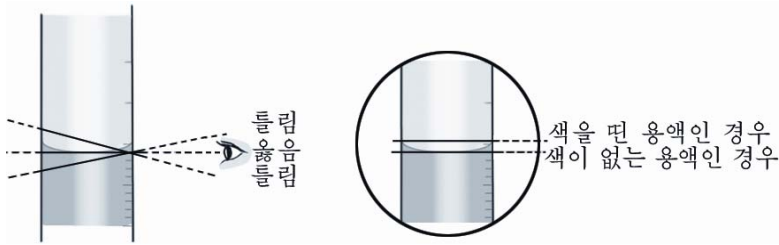



그림 1-5. 메스실린더의 눈금보는 법

메스실린더에서 용액만드는 순서. 저울질한 시약을 비커에 넣고 푼다. 잘 풀리지 않으면 가열하면서 푼다. 다 풀린 다음 메스실린더에 부어넣는다. 세척병으로 비커에 묻은 시약을 2~3회 씻어넣고 해당한 눈금까지 증류수를 넣는다.

메스실린더에서는 고체시약을 풀수 없으며 가열하면 깨여진다. 물이 들어있는 실린더에 짙은 류산을 넣으면 열이 나면서 깨여질수 있다.

메스실린더 씻는 법. 먼저 탄산소다와 물로 메스실린더의 겉면을 씻는다. 다음 안에 탄산소다를 약숟가락으로 뿌리고 세척솔로 닦는다. 이때 메스실린더를 실험대에 놓고 왼손으로 실린더를 잡고 오른손으로 아구리를 보호하면서 세척솔로 벽을 닦아야 한다. 벽을 닦은 다음에는 밑을 닦는다. 절대로 메스실린더를 들고 닦아서는 안된다. 마지막에 증류수로 씻고 말리워 보관한다.

5) 피페트

피페트에는 홀피페트, 메스피페트, 작은 메스피페트, 고무공이 달린 피페트가 있다.(그림 1-6)

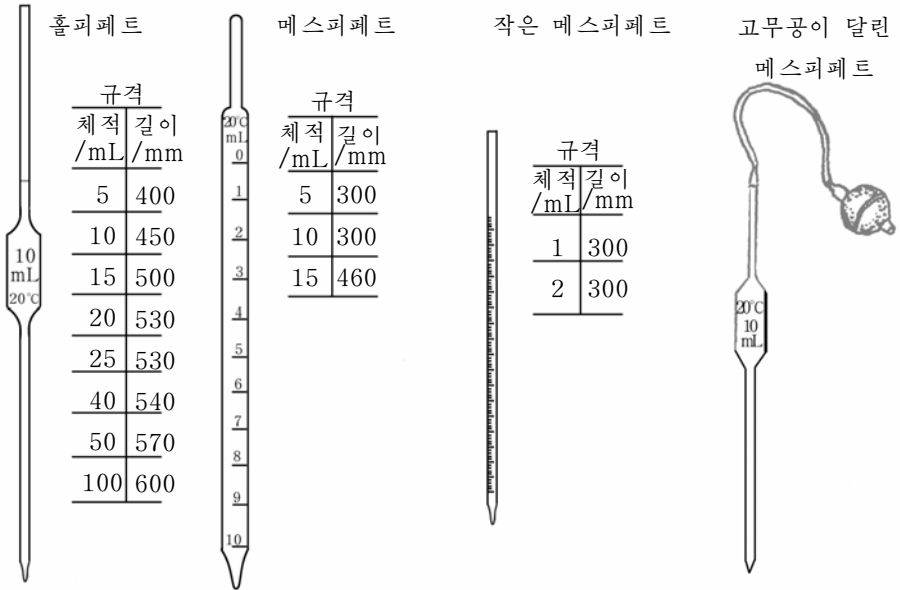



그림 1-6. 피페트의 종류

① 홀피페트

홀피페트는 규격에 해당한 액체의 체적을 정확히 측정하는데 쓴다.

홀피페트를 잡을 때에는 오른손으로 잡되 손끌으로 잡으며 그안에 액체가 들어있을 때에는 둘째손가락으로 웃구멍을 막아야 한다.

홀피페트로 액체의 체적을 측정하는 법. 먼저 액체를 채우는 방법을 보자.

측정하려는 액체로 피페트안을 2~3회 씻어낸다. 피페트를 시약병안에 너무 깊게도 얕게도 넣지 말고 측정하려는 체적의 1.5~2배 되게 잠근다. 다음 숨을 쉬지 말고 입으로 0눈금보다 5~10mm 높게 액체를 빨아올린다. 둘째 손가락으로 피페트를 막고 조금씩 돌리면서 0눈금까지 액체를 뽑아낸다. 이때 반드시 피페트를 수직으로 세우고 눈금을 읽어야 한다. 그 다음 피페트를 삼각플라스크로 옮기고 경사지게 쥐여 피페트끝이 벽에 닿지 않으면서 용액이 벽을 따라 흘러내리게 한다. 그런데 마지막 한방울은 나가지 않는다.

마지막 한방울은 손끌으로 피페트의 웃부분을 꽉 막고 피페트의 넓

은 부분을 손바닥으로 감싸쥐면 손의 열에 의하여 공기가 팽창되면서 빠져나온다. 홀피페트끝을 플라스크벽에 대여서 마지막 한방울을 뽑아서는 안된다. 그렇다고 하여 입으로 불어서 뽑아서도 안된다.

② 메스피페트

메스피페트는 주어진 규격한계내에서는 액체의 임의의 체적을 측정할수 있다.

메스피페트로 액체의 체적을 측정하는 법. 홀피페로 액체의 체적을 측정하는 방법과 같다.

메스피페트에서 액체를 뽑아내는 법. 만일 3mL를 취한다고 하면 0눈금으로부터 시작하여 3눈금까지 뽑는다. 그러기 위하여 피페트를 계속 수직으로 세우고 눈금을 보면서 용액을 뽑아낸다. 3눈금근방에서 손끝으로 피페트아구리를 가볍게 막고 피페트를 돌리면서 3눈금까지 맞춘다. 피페트에 남은 액체를 다시 시약병에 넣는다. 이상의 조작을 할 때 피페트는 항상 곧추 수직으로 세우고 용액을 받는 비커를 약간 기울여 피페트끝이 비커에 닿지 않으면서 벽을 따라 용액이 흘러내리게 하여야 한다. 피페트를 경사지게 하거나 액체가 튀여나오게 하면 안된다.

메스피페트인 경우는 마지막 한방울이 문제로 되지 않는다.

메스피페트와 홀피페트의 사용법을 혼돈하는 경우가 많은데 주의하여야 한다.

유독한 물질, 가스를 내는 액체물질의 체적을 측정할 때에는 주사기가 달린 피페트 또는 고무공이 달린 피페트를 쓴다.

피페트를 씻는 법. 처음에 물과 탄산소다로 겉면을 씻은 다음 피페트안에 크롬산혼액을 2~3mL정도 넣고 아래우로 흔들면서 돌린다. 잘 씻어지지 않으면 피페트를 크롬산혼액에 담근다. 이때 4시간이상 담구어두면 안된다. 그 다음 피페트를 물로 씻고 마지막에 증류수로 씻는다. 피페트씌우개를 씌워 피페트대에 수직으로 꽂아 말리운다. 피페트대는 피페트끝이 바닥에 닿지 않도록 조절한다.

6) 메스플라스크

메스플라스크는 정확한 농도의 용액을 만드는데 쓰는 기구이다.

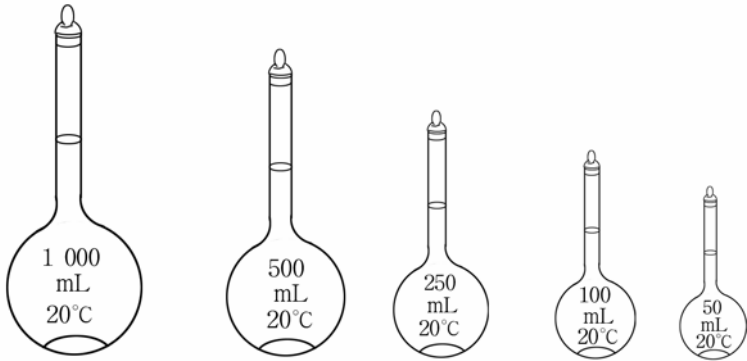



그림 1-7. 메스플라스크의 종류

메스플라스크에 액체를 부어넣는 법. 메스플라스크를 실험대우에 놓고 깔때기를 왼손으로 고정하여 잡고 오른손에 든 비커안의 용액을 메스플라스크안벽을 따라 흐르도록 부어넣는다. 깔때기없이 붓거나 손에 들고 넣으면 안된다.

메스플라스크로 액체의 체적을 측정하는 법. 메스플라스크를 실험대바닥에 놓고 깔때기를 리용하여 눈금보다 0.5~1cm낮은데까지 액체를 채운 다음 스포이드로 액체를 눈금까지 채운다.

메스플라스크로 용액을 만드는 법. 물에 잘 풀리는 물질은 메스플라스크에서 직접 용액을 만들수 있다.

건조된 메스플라스크에 깔때기를 꽂고 계산된 량만큼 저울질 한 시약을 넣고 손가락으로 가볍게 깔때기를 두드린다. 깔때기와 평량병안을 세척병으로 씻어 메스플라스크안에 넣고 흔들면서 고체시약을 푼다. 플라스크의 둥근부분을 잡고 흔들지 말아야 한다. 다음 플라스크의 절반정도 물을 넣고 마개를 막아서 방안온도와 같아질 때까지 놓아둔다. 눈금의 0.5~1cm아래까지 물을 채우고 스포이드로 눈금까지 물을 채운다. 눈금을 맞추고 마개를 막아 거꾸로 들고 흔든다. 용액을 다 제조한것은 시약병에 넣고 이름표를 붙인다.

보통온도에서 잘 용해되지 않는 물질의 용액만들기를 보자.

메스플라스크는 가열할수 없으므로 저울질 한 시약을 비커에 넣고 가열하면서 용해시킨 다음 방온도까지 식혀서 메스플라스크에 넣고 비커와 깔때기를 세척병의 물로 2~3회 씻어 넣는다. 스포이드로 물을 넣

으면서 눈금을 맞춘 다음 마개를 막고 거꾸로 들고 흔들어 쓴다.

픽사날을 메스플라스크에 깨여넣는 법. 메스플라스크에 깔때기를 끼우고 픽사날을 깨여넣는다. 세척병의 물로 깔때기를 씻어내리고 스포이드로 눈금을 맞춘다.

메스플라스크 씻는 법. 크롬산혼액을 넣고 흔들어 씻는다. 그 다음 물로 잘 씻고 마지막으로 증류수로 씻어 보관한다.

규격

체적/mL	25	50	100	200
길이/mm	350	525	525	525

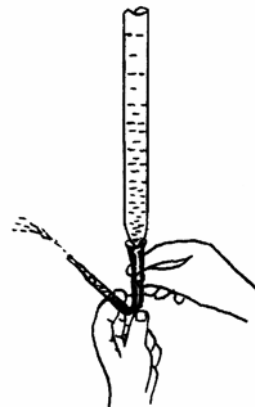
그림 1-8. 뷰레트의 종류

7) 뷰레트

뷰레트는 액체의 체적을 정확히 측정하는데 쓰며 주로 용액을 적정하는데 많이 쓰인다.

뷰레트에 용액을 넣는 법. 잘 씻은 뷰레트에 적정용액을 조금 넣고 아래우로 흔들면서 뷰레트안을 적정용액으로 2~3회 씻어낸다. 뷰레트를 고정판대에 설치한다. 뷰레트의 중간부분을 고정하는데 코크손잡이는 오른쪽에 가도록 하고 뷰레트는 수직으로 서게 고정한다. 코크를 막은 상태에서 깔때기를 꽂고 0눈금에서 2~3cm 더 올라오게 용액을 부어넣는다. 코크를 조금씩 열면서 0눈금까지 용액을 뽑아낸다. 깔때기를 꽂은 상태로 0눈금을 맞추거나 뷰레트를 곧추 수직으로 세우지 않고 0눈금을 맞추면 안된다. 0눈금을 맞춘 다음 적정을 시작한다.

그림 1-9. 공기를 뽑아내는 동작

적정을 할 때 뷰레트에서 용액을 뽑아내는 법. 왼손으로 코크를 조절하면서

오른손으로는 적정하려는 용액이 들어있는 삼각플라스크를 잡고 흔들면서 용액을 뽑아낸다.

적정할 때에는 절대로 깔때기를 꽂아두지 말아야 한다. 뷰레트끝에 공기가 차있으면 그대로 적정하지 못하므로 공기(기포)를 뽑아내야 한다.(그림 1-9)

뷰레트에서 나오는 적정용액 한방울의 체적은 0.02~0.03mL 되게 하여야 한다. 뷰레트끝의 직경이 같다 해도 기름을 바르면 방울의 크기가 작아지는데 이때 돼지기름같은것을 조금 바르면 좋다.

뷰레트 씻는 법. 물로 뷰레트의 안팎을 잘 씻은 다음 벽이 두꺼운 실린더에 넣는다. 여기에 크롬산혼액을 넣어 4시간이상 담구어 두지 않도록 한다. 그리고 물로 씻은 다음 증류수로 씻어 말리워 보관한다.

중화적정순서. 례를 들어 농도가 알려진 가성소다표준용액이 있고 농도를 모르는 염산용액이 있다고 하자.

염산용액의 농도를 결정하기 위하여 중화적정을 진행한다.

먼저 적정용액인 가성소다표준용액으로 뷰레트를 2~3회 씻은 다음 고정대에 설치한다. 뷰레트에 깔때기를 꽂고 가성소다표준용액을 부어넣으며 뷰레트밑에는 비커를 놓는다. 깔때기를 뽑고 0눈금을 맞춘다. 이때 오른손으로는 뷰레트의 코크를, 왼손으로는 비커를 잡고 뷰레트의 눈금을 보면서 눈금을 맞추며 나온 용액은 받아버린다.

농도를 모르는 염산용액 10.00mL를 삼각플라스크에 넣고 거기에 증류수를 20~30mL 더 넣는다.

페놀프탈레인알림약을 염산용액이 담긴 삼각플라스크에 2~3방울 넣는다. 이때 용액은 색을 띠지 않는다.

다음 적정하기 시작한다.

적정할 때에는 오른손으로 삼각플라스크를 계속 흔들면서 왼손으로 적정용액이 흘러나오게 한다. 이때 뷰레트눈금을 보지 않고 삼각플라스크만 계속 보아야 한다. 분홍색이 나타나기 시작하면 세게 흔들면서 용액을 방울방울 떨어뜨린다. 분홍색이 나타나서 없어지지 않으면 2~3min동안 삼각플라스크를 놓아두며 그래도 색이 없어지지 않으면 뷰레트눈금을 읽어 적정에 소비된 가성소다표준용액의 체적을 구한다.

다음 계산에 의하여 염산용액의 농도를 구한다. 이렇게 3회이상 적정하여 평균한다. 다시 적정을 시작할 때에는 가성소다표준용액을 뷰레트에 넣고 0눈금을 맞춘 다음 진행해야 한다.

뷰레트에는 이밖에도 미크로뷰레트, 밀페뷰레트가 있다.

8) 깔때기

깔때기는 주로 침전물과 용액을 갈라낼 때와 아구리가 좁은 그릇에 액체 또는 가루시약을 옮길 때 쓴다.

매우 보드라운 침전물을 려과할 때 용액을 빨아내리기 위하여 목이 가늘고 긴 깔때기를 쓰며 결정이 석출될수 있는 용액을 려과할 때에는 목이 짧고 굵은것, 침전물이 굵은것을 려과할 때에는 목에 알이 있거나 주름있는 깔때기를 쓴다.

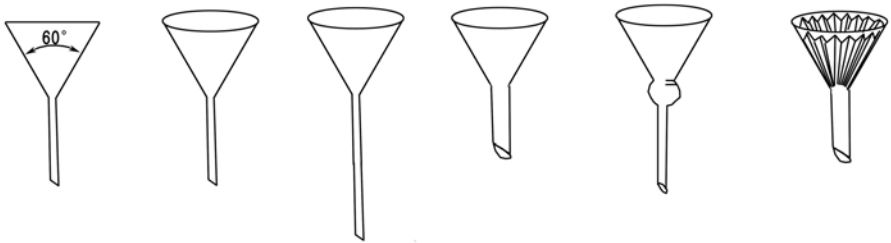



그림 1-10. 깔때기의 종류

깔때기에 려지를 끼우는 방법. 아래의 그림 1-11에 려지를 접는 방법과 깔때기에 려지를 끼우는 방법을 보여주었다.

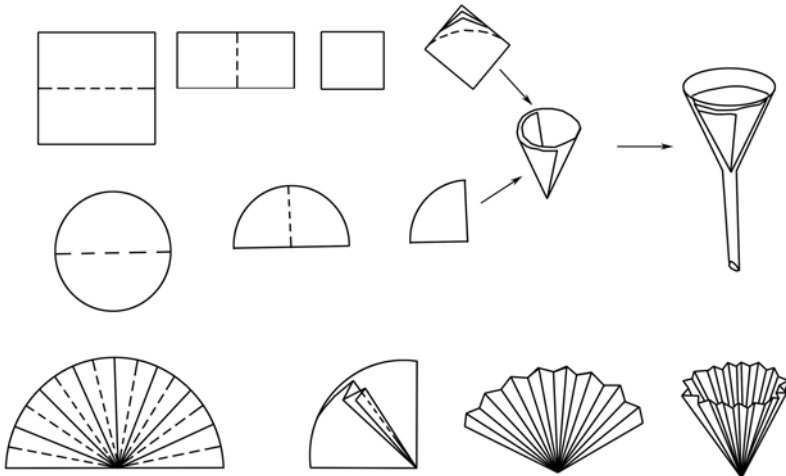



그림 1-11. 려지 접는 방법과 깔때기에 려지를 끼우는 방법

려지를 접을 때 접는 부분을 훑어서 접거나 손톱으로 훑어서 접지 말고 접는 부분을 손가락으로 꾹꾹 눌러서 접어야 한다. 다음 접은 려지를 깔때기에 꼭 맞게 펴서 증류수로 적시여 려지가 깔때기안벽에 꼭 붙게 한다,

려과방법. 고정대의 고정고리에 깔때기를 끼우고 그 끝이 비커의 벽에 닿게 조절한다. 려과할 때에는 려과하려는 용액이 유리막대기를 따라 흘러내리도록 용액을 조금씩 부어넣는다. 유리막대기는 깔대기에 끼운 려지에 닿아서도 안되며 가운데 밑에 내려가도 안된다. 특히 려과하려는 용액이 담겨진 비커의 아구리가 깔때기밖에 나가면 안된다.

깔때기에 부어넣는 용액면이 려지끝까지 올라와서는 안된다. 려지는 깔때기끝에서 3~5mm아래에 놓여야 하며 부어넣은 용액의 량은 려지끝에서 3~5mm아래에 이르러야 한다.

침전물을 려과할 때 우선 비커에서 침전물을 가라앉힌 다음 맑은 부분을 깔때기에 넣는다. 그 다음에 침전물과 함께 나머지를 모두 깔때기에 넣는다.

침전물을 씻을 때에는 세척병으로 씻어 깔때기에 넣는다.

려과할 때 깔때기의 끝이 비커벽에 닿도록 해야 더 빨리 려과되며 그렇지 않으면 려액이 튀여나고 려과하는 속도도 더 떠지게 된다.

침전물이 많을 경우에는 큰 깔때기를 선택하여야 한다.

려과를 더 빨리 하려면 깔때기목에 용액을 가득 채워넣으면 된다. 그것은 용액의 질량만큼 아래로 빨아내리는 힘이 생기기때문이다.

또한 깔때기의 목이 긴것일수록 더 잘 빨아내린다.

깔때기목에 공기가 차거나 깔때기벽과 려지사이에 큰 간격이 생기면 공기가 차므로 잘 려과되지 않는다.

일반적으로 용액을 가열하여 려과하면 더 빨리 려과할수 있다.

필요에 따라 용액을 뜨거운 상태로 려과하는 보온려과, 랭각상태로 려과하는 랭각려과를 한다. 이밖에 감압하에서 진행하는 흡인려과가 있다.

씻는병(세척병)에는 다음과 같은것들이 있다.(그림 1-12)

보통 평밑플라스크로 만든것 폴리에틸렌병으로 만든것

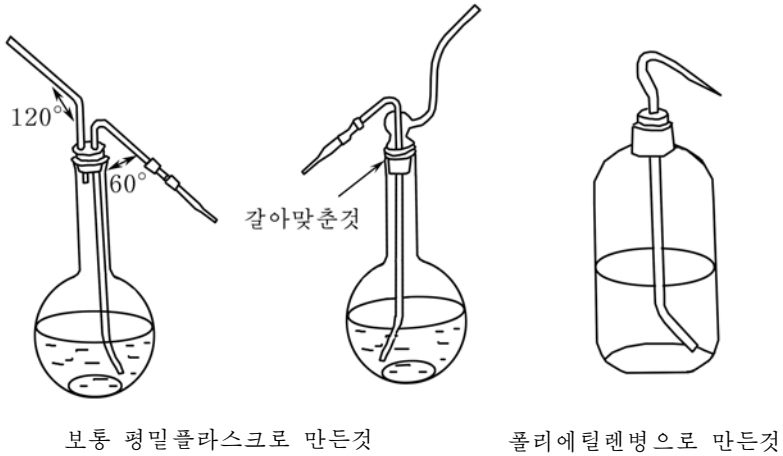



그림 1-12. 세척병의 종류

9) 약절구

약절구는 고체시약을 가루내거나 고체시약을 잘 섞는데 쓴다. 고체시약에 따라 알맞는 약절구를 찾아 써야 한다.

유리절구 사기절구 쇠절구 마뇌절구

그림 1-13. 약절구의 종류

약절구 쓰는 법. 약절구에 시약을 절구높이의 1/3되게 넣는다. 절구공이는 오른손으로 감아쥔다.

고체시약을 가루낼 때 처음에는 큰덩어리를 절구공이로 내리눌러 부스러뜨리고 다음 절구공이를 주변으로 돌리면서 분쇄하며 시약이 가운데 많이 모이면 가운데로부터 돌리며 가루낸다. 다음 밖으로부터 가운데로, 가운데로부터 밖으로 절구공이를 돌리면서 가루낸다. 쇠절구를 제외하고는 절구공이를 아래우로 짓쫗으면 안된다.

10) 데시케터

데시케터는 일반적으로 높은 온도에서 말리운것을 습기를 빨아들이지 않게 하면서 방온도까지 식히거나 보통온도에서 물질을 말리우는데 쓴다.

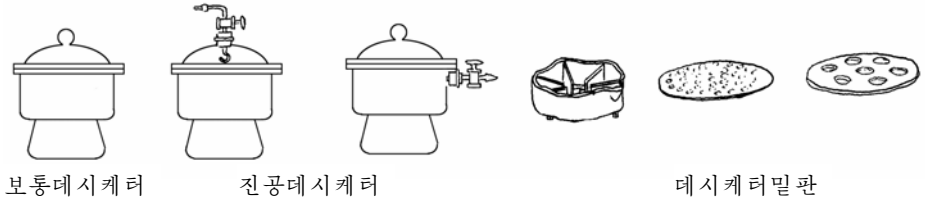



그림 1-14. 데시케터의 종류

데시케터뚜껑을 여는 법. 데시케터의 뚜껑과 통사이에 그리스를 바르고 사기제밑판아래에 건조제를 넣는다. 건조제로는 류산, 무수염화칼시움, 실리카겔 및 오산화이린 등을 쓴다. 데시케터뚜껑을 왼손으로 잡고 옆으로 민다. 열어서 뚜껑을 든채로 실험조작을 한다. 부득이 한 경우에 뚜껑을 열어서 바닥에 놓을 때에는 엎어놓지 말고 젖혀놓아야 한다.

데시케터에 도가니를 넣는 법. 왼손으로 뚜껑을 든채로 오른손으로 도가니집게로 집어 옮겨넣는다.

데시케터뚜껑을 닫는 법. 뚜껑을 옆으로 밀어서 닫아 꽉 잡고 조금 돌려준다.

데시케터는 두손으로 뚜껑을 함께 감싸쥐고 옮긴다.

11) 도가니, 도가니집게

도가니는 침전물의 작열, 시약의 작열분해, 알카리용융 및 소다용융 등의 조작에 쓴다.

도가니집게는 마플로 또는 도가니로에 도가니를 넣거나 꺼낼 때 쓴다.

도가니는 삼발이, 도가니로, 작열로를 리용하여 가열한다.

그림 1-15. 도가니로의 종류

도가니집게로 도가니잡는 법. 도가니집게를 끝이 아래로 향하게 약간 경사지게 잡되 도가니를 너무 깊게도, 너무 얕게도 잡지 말아야 한다.

도가니집게를 놓을 때에는 끝이 우로 향하게 놓아야 한다.

12) 접시, 삼각가, 삼발이

접시의종류에는 증발접시와 시계접시가 있다.

증발접시는 용액의 증발, 증발건조 및 결정화조작에 쓴다.

결정접시도 있는데 이것은 물질을 재결정화할 때와 증발시킬 때 쓴다.

그림 1-16. 도가니집게의 종류

시계접시는 그릇을 덮거나 시약을 저울질하는데, 고체시료를 데시커터안에서 말리우는데, 색반응을 해보는데 쓴다.

삼각가, 삼발이는 도가니, 증발접시 등을 가열하는데 쓰는 보조적 기구이다.

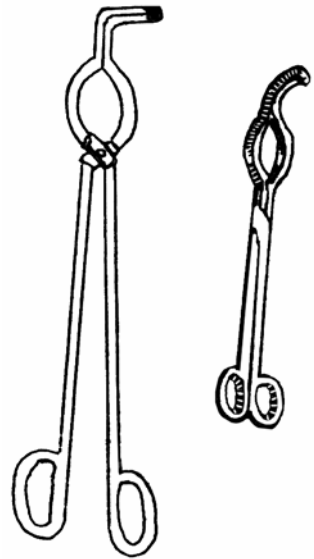
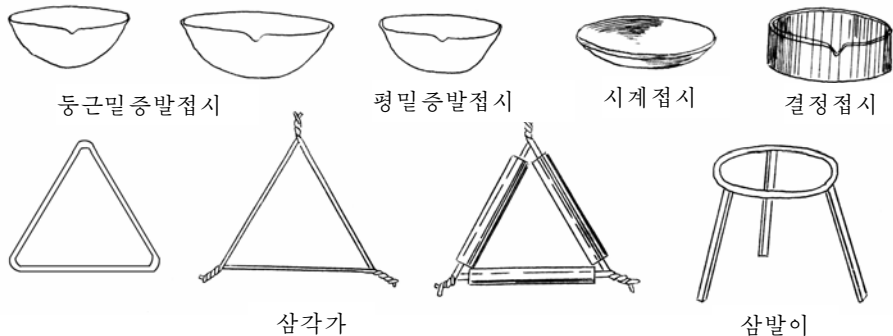



그림 1-17. 접시, 삼각가, 삼발이의 종류

13) 밀도계

밀도계는 액체의 밀도를 측정하는데 쓰이는 기구이다.

밀도가 $1g/cm^3$보다 작은 액체를 측정할 수 있는것, 밀도가 1 g/cm^3까지 측정할수 있는것, 2 g/cm^3까지 측정할수 있는것 등 여러개가 하나의 조를 이루고있다.

액체에 밀도계를 잠그는 법. 밀도를 측정하려는 액체를 메스실린더에 넣고(총체적의 4/5정도) 밀도계를 조심히 실린더바닥까지 밀어넣었다가 놓는다. 밀도계의 진동이 멎은 다음 눈금을 읽는다. 밀도계를 실런더에 넣을 때 높은 곳에서 놓으면 밀도계의 밑부분이 깨여질수 있다.

밀도계눈금을 읽는 법. 실린더를 들고 눈금을 보아서는 안된다.

밀도계는 액체속에 떠있어야 하며 메스실린더벽에 닿게 하거나 메스실린더를 경사진 곳에 놓고 눈금을 읽으면 안된다. 메스실린더를 반듯한 실험대우에 수직으로 세워놓고 밀도계의 눈금을 읽는다. 이때 눈금과 눈의 위치는 액면의 웃면과 수평이 되여야 한다.

그림 1-18. 밀도계의 모양

14) 수은온도계

수은온도계는 온도를 측정하는데 쓰는 기구이다.

-39℃～+350℃까지의 온도를 측정하는데 쓸수 있다.

규격: 50℃, 100℃, 150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 350℃

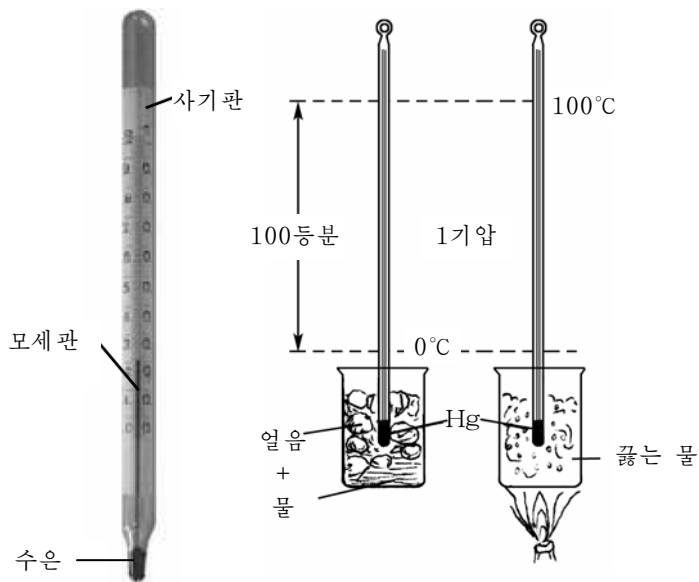



그림 1-19. 온도계만드는 원리와 온도계의 모양

여러 실험장치들을 꾸밀 때 온도계의 위치를 잘 선정하여야 한다. 실례로 증류장치에서는 온도계를 수은구웃부분이 플라스크가지보다 5mm정도 낮게 꽂아야 한다. 또한 액체의 끓음점측정장치에서는 온도계를 액체속에 잠그지 말고 용액면보다 1~2cm우에 놓이게 꽂아야 정확한 온도를 알수 있다.

온도계눈금은 수평으로 보아야 한다.

15) 알콜등

알콜등은 화학실험에서 그리 높지 않은 온도로 가열할 때 쓰는 가장 간단한 가열기구이다.

알콜등에는 키가 낮으면서 넓은 것과 키가 높은 것이 있다.(그림 1-19)

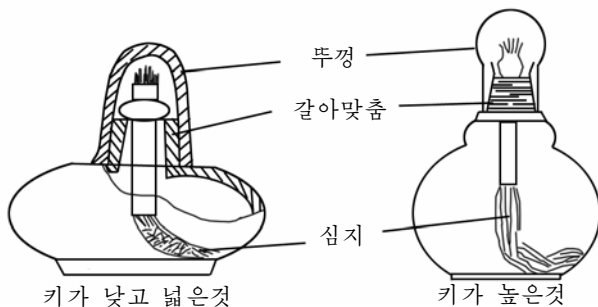



그림 1-20. 알콜등의 구조

알콜등에 알콜을 넣는 법. 뚜껑을 열고 심지를 뽑아서 제껴놓는다. 깔때기를 꽂고 알콜을 넣는데 알콜등높이의 2/3를 넘지 않도록 한다. 알콜을 넣은 다음 꼭 뚜껑을 닫아서 보관한다.

알콜등에 불을 붙이는 법. 뚜껑을 열어 알콜등의 오른쪽뒤에 놓는다. 다음 불을 붙인다. 성냥가치로 불을 붙여야지 알콜등끼리 맞불질하면 알콜이 쏟아지면서 불이 일어날수 있으므로 주의해야 한다. 그리고 알콜등의 심지를 넣는 관이 작으면 알콜등에 공기가 들어가 폭발할수 있으므로 맞는것을 써야 한다.

알콜등의 불을 끄는 법. 뚜껑으로 덮어서 불을 끈다. 다음 뚜껑을 다시 열었다가 덮어야 한다. 알콜증기가 새지 않도록 뚜껑을 꼭 막아야 한다. 절대로 입으로 불어서 끄지 말아야 한다. 그것은 입으로 불면 공기가 들어가 폭발할수 있기때문이다.

알콜등의 연료

종류	연소열/kJ·mol^{-1}	자연발화온도/℃
메틸알콜	726.60	475
에틸알콜	1 370.68	400

알콜등에서 불길의 온도분포는 그림 1-21과 같다. 온도가 높은 곳에서 쇠줄은 더 밝게 빛난다.

알콜등에서 가열하려는 물체의 위치는 불길높이의 2/3에 놓여야 한다.

알콜등의 심지를 만드는 법. 무명실토리를 5% 가성소다용액에 넣고 끓여서 말리운 다음 실을 꼬아서 알콜등의 관에 꼭 끼여들어가게 꽂는다.

그림 1-21. 알콜등불길에서 온도분포

16) 일반화학실험에서 쓰는 몇가지 가열기구

① 모래욕- 모래욕은 200~300℃까지 고르롭게 유리기구를 가열하는데 쓰는 가열기구이다.

② 물욕- 물욕은 100℃이하의 온도에서 유리기구를 고르롭게 가열하는데 쓰는 가열기구이다.

③ 공기욕- 뜨거운 공기로 가열하기 위한 가열기구이다.

④ 기름욕- 100℃이상으로 가열하는 경우에 욕조에 물대신에 동물성기름 또는 식물성기름을 넣고 쓴다.

⑤ 증기욕- 일정한 범위의 온도에서 끓어오르는 물이외의 물질 또는 그의 혼합물의 증기를 사용한다.

⑥ 건조로- 물질을 말리우는데 쓰는 가열기구인데 200~300℃까지의 온도에서 쓸수 있다.

⑦ 작열로- 작열, 용융 등의 조작에 쓰이는 가열설비인데 1 000℃까지의 온도에서 작업할수 있다.

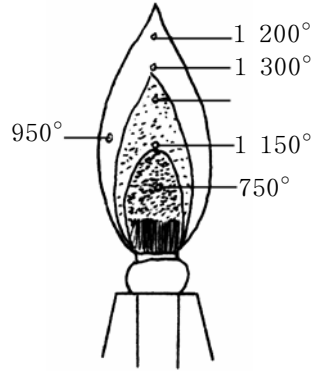
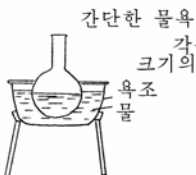
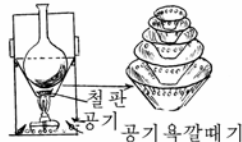



그림 1-22. 몇가지 가열기구

17) 반미량실험기구

반미량실험기구에는 작은 시험관, 작은 플라스크, 스포이드, 저음대, 약주걱 및 스포이드가 달린 시험관, 점적병, 점적판이 있다.(그림 1-23)

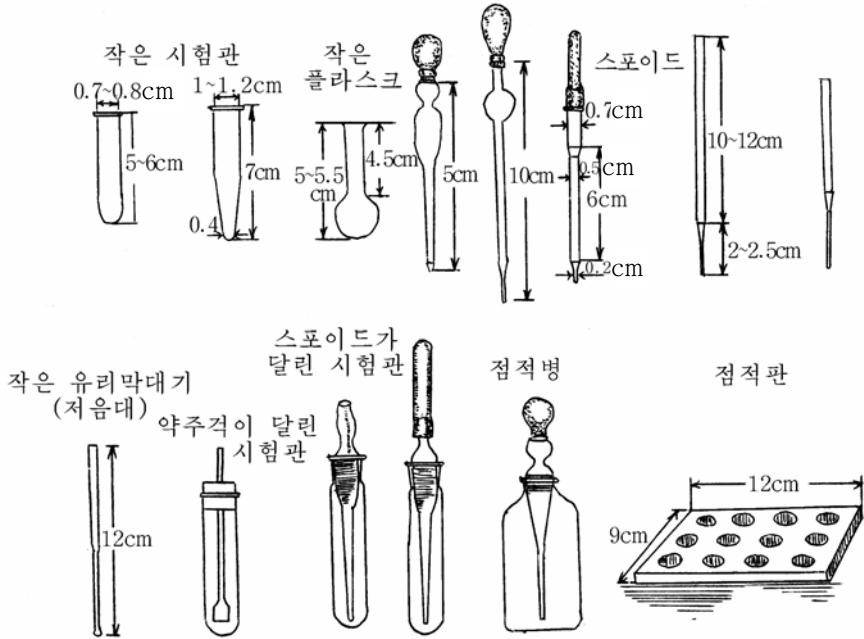



그림 1-23. 반미량실험기구

① 작은 시험관 및 작은 플라스크

적은 량(0.05~0.1mL)의 시약으로 진행하는 반미량실험에 쓴다.

② 스포이드

작은 시험관, 점적판에 시약을 방울방울 떨어뜨리는데 쓴다.

③ 유리막대기(저음대)

액체를 젓거나 려과할 때, 용액을 깔때기에 부어넣을 때 쓴다.

④ 점적병

적은 량의 액체시약을 넣어두었다가 조금씩 꺼내는데 쓰거나 휘발하기 쉬운 액체시약을 넣는데 쓴다.

⑤ 점적판

주로 색갈을 띤 물질이 생기거나 색갈이 없어지는 반응을 시킬 때 쓴다.

18) 고정대

고정대는 실험실에서 기구를 고정하거나 장치를 조립할 때, 가열, 려과할 때 쓰는 기본설비의 하나이다.

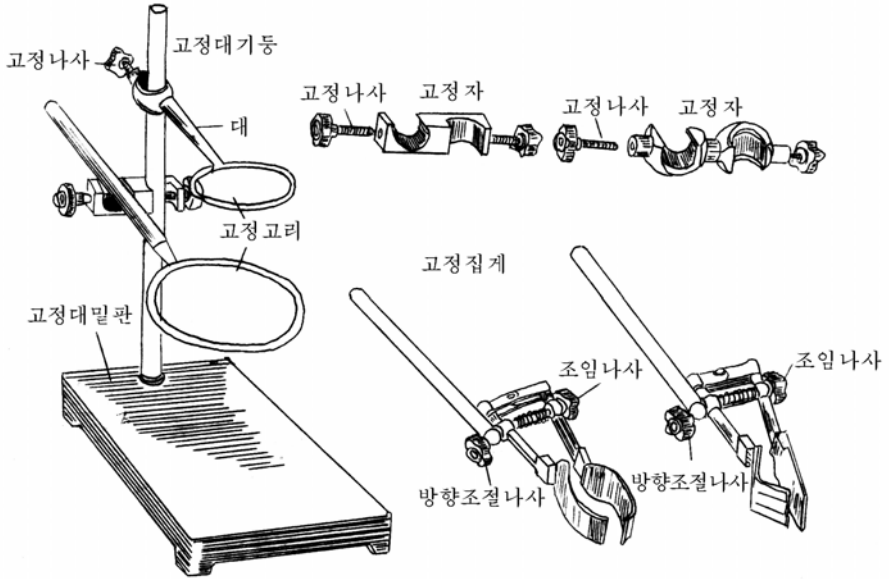



그림 1-24. 고정대

고정대에 유리기구를 고정시키는 법. 먼저 고정대에 고정자를 조립한다. 이때 고정집게의 대가 고정자의 웃부분에 놓이도록 한다.

고정자를 조립한 다음 고정자의 웃부분에 고정집게를 조립하는데 고정집게의 대와 고정집게방향조절나사가 왼쪽에 가고 고정집게의 조임나사가 오른쪽에 놓이도록 고정한다. 플라스크를 고정시키려면 플라스크의 목을 집게나사에 끼워넣고 왼손으로 잡은 다음 오른손으로 힘이 느껴질 때까지 조임나사를 돌린다. 플라스크를 움직여보고 제대로 고정되지 않았으면 조임나사를 더 조인다. 고정시킨 다음 플라스크의 방향을 돌릴 필요가 있을 때에는 손을 바꾸어쥐고 왼손으로 방향조절나사를 돌린다.

다른 유리기구들을 고정시키는 방법도 이와 같은 방법으로 한다.

19) 유리기구의 마개

유리기구의 마개에는 고무마개, 코르크마개, 유리마개, 합성수지마개 등이 있다.(그림 1-25)

그림 1-25. 유리기구의 마개종류

고무마개는 질이 치밀하고 묽은 산, 묽은 알카리에 안전하므로 유리기구의 마개로서 적당하다.

결함은 유기용매, 높은 온도, 짙은 산, 짙은 알카리에 견디지 못하는것이다.

코르크마개는 유기용매에 잘 견디므로 유기용매를 취급하는 실험에 쓴다. 고무마개보다 더 높은 온도에 견딘다.

결함은 작은 구멍이 많고 그 질이 성글기때문에 막은 다음 기밀제를 발라야 한다.

유리마개는 갈아맞추게 되여있어 가공하지 않고 쓴다.

짙은 산, 유기용매, 높은 온도에 잘 견딘다.

합성수지마개에는 내산성, 내알카리성 등 여러가지 재질로 된것이 있다.

유리기구의 마개에 구멍을 뚫을 때에는 코르크구멍뚫으개와 수동구멍뚫으개를 리용한다.

20) 분액깔때기

분액깔때기는 서로 용해되지 않는 두 액체가 층으로 갈라져있는것을 갈라내는데 쓴다.

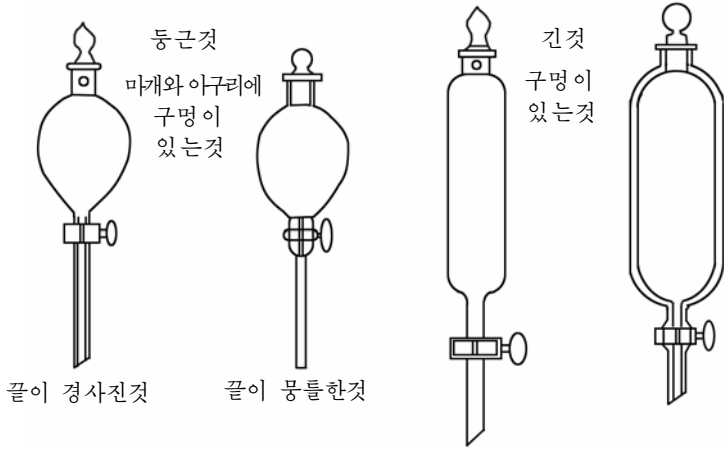



그림 1-26. 분액깔때기의 종류

마개와 아구리의 구멍. 마개와 아구리의 구멍이 맞지 않으면 막히여 기체는 드나들지 못한다. 마개를 돌려서 구멍이 맞게 하면 기체가 드나든다.

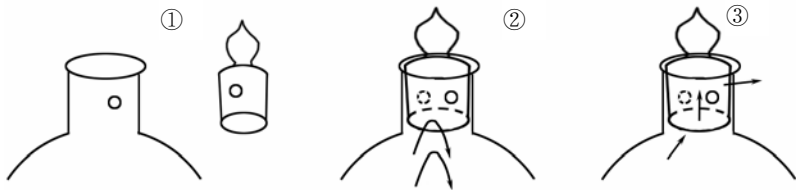



그림 1-27. 마개와 아구리의 구멍

추출할 때 분액깔때기 쓰는 법. 분액깔때기를 고정대에 고정시키고 마개를 노끈 또는 동줄로 맨다. 다음 아구리에 깔때기를 꽂고 추출하려는 원액을 넣고 다음 추출제를 넣는다. 추출제와 원액을 넣은 다음 마개를 막는다.

다음으로 분액깔때기를 흔든다. 즉 왼손으로 코크손잡이를 잡고 오른손으로 마개를 막아쥐고 아래우로 세게 흔든다. 휘발성용매가 들어있을 때에는 흔들다가 이따금 코크로 기체를 뽑는다. 다 흔든 다음 고정대에 놓아두어 층이 갈라지게 한다. 층이 갈라진 다음 코크를 열어 밑으로 아래층의 용액을 뽑아 비커에 받는다. 이때 용액을 목까지만 뽑고

는 코크를 닫는다. 다음 아래층의 나머지가 다 모이게 하고 그 나머지를 마저 뽑아내며 웃층의 용액은 깔때기아구리로 다른 그릇에 쏟아낸다.

21) 일반화학실험에 쓰는 기타 보조기구들

그림 1-28. 일반화학실험에 쓰는 기타 보조기구들

약숟가락. 고체시약을 퍼내고 퍼넣는데 쓴다.

약숟가락에는 도금한 철약숟가락, 유리약숟가락, 연소용약숟가락, 사기약숟가락이 있다. 침식성이 센 시약을 다를 때에는 유리약숟가락과 사기약숟가락을 쓰며 불붙이는 실험에서는 연소용약숟가락을 쓴다.

약주걱. 약주걱은 결정을 다지거나 고체물질을 옮기고 긁어내리는데 쓴다.

핀세트. 핀세트는 알림약종이를 집는데, 유독한 고체시약을 취급하는데 쓴다.

저음대. 반응물질을 섞는데와 려과하는데 쓰며 센 산성, 알카리성물질을 다룰 때에는 고무관을 끼우지 않고 쓴다.

유리종. 공기를 차단하고 실험하는데 쓴다.

평량병. 시약을 저울질하는데 쓴다.

밀도병. 밀도를 결정하는데 쓴다.

각다반. 수은을 취급하거나 기타 시약, 유리기구를 나르는데 쓴다.

시험관집게. 시험관을 가열할 때 안전하게 잡기 위해 쓴다.

이밖에 고무관집게, 똬리, 결정그릇, 세척솔, 쇠그물, 수조, 코크 등이 있다.

똬리는 둥근밑플라스크밑받치개로 쓰며 세척솔은 유리기구를 씻는데, 쇠그물은 유리기구를 가열할 때 밑받치개로 쓴다.

코크는 기체의 흐름을 조절하는데 쓴다.

결정그릇은 고체물질을 넣어서 옮기는데, 잠간 건사하는데, 젖은 고체시약을 말리우는데 등에 쓴다.

수조에는 둥근 수조와 각수조가 있다.

제2장. 화학실험의 기본조작

제1절. 분쇄

1) 분쇄의 목적

고체를 가루내는데는 다음의 세가지 목적이 있다.

① 고체의 겉면적을 크게 하기 위해서이다.

고체를 가루내면 그 겉면적이 커져서 승화할 때에는 승화속도가 커지며 고체와 고체 또는 고체와 액체를 반응(용해)시킬 때에는 알갱이가 보드라울수록 잘 반응(용해)한다.

② 물질을 골고루 섞기 위해서이다.

고체와 고체를 잘 섞거나 액체에 고체를 용해시켜 고루게 할 때 나아가서 반응을 시키는 경우에는 고체알갱이의 립도가 보드라울수록 좋다. 고체를 액체에 용해시키는 경우에 고체를 가루내는것은 용해를 쉽게 하기 위한 첫째가는 조건이다.

③ 고체속의 필요한 성분을 갈라내기 위해서다.

고체에 필요한 성분과 불필요한 성분이 섞여있을 때 이것을 가루내여 필요한 성분을 갈라내야 할 필요가 가끔 제기된다.

고체에 들어있는 성분을 추출할 때 고체시료를 잘게 할수록 추출효률이 좋아진다.

2) 분쇄의 전처리

실험실에서는 크고 굳은 덩어리는 우선 송곳이나 정을 써서 알맞춤한 크기의 쪼각으로 만든 다음 분쇄조작에 넘긴다. 가느다란것은 작두로 썰어서 분쇄기에 넣는다.

원료의 굳기. 원료의 굳은 정도에 따라 분쇄기를 골라써야 한다. 아래에 몇가지 물질의 경도를 참고로 주었다. 괄호안의 수자는 경도(단위는 모오스)를 나타낸다.

활석(1), 암염(2), 석고(2), 순흑연(2), 방해석(3), 생석회(3), 대리석(3), 석회석(4), 형석(4), 린회석(5), 장석(6), 각섬석(6), 석영(7), 화강암(7), 황옥(8), 강옥(9), 금강석(10)

3) 적은 량의 분쇄

실험대우에서 극히 적은 량의 물질을 분쇄하는 경우에는 도자기판대기우에서 약숟가락으로 짓누른다.

보통 약절구를 리용하여 가루낸다.

미량의 무기물질이라도 혼입되여서는 안될 분석시료나 매우 굳은 물질을 가루내는데는 마뇌약절구를 쓴다.

탄산가스나 류화수소발생용에 쓰는 대리석이나 류화철과 같이 굳고 바습성있는것은 깊숙한 쇠절구에 조금씩 넣고 쇠절구공이로 찧는다. 약절구로 봏으려고 할 때에는 약절구가 판대기우에서 미끄러질수 있으므로 이런 경우에는 약절구밑에 고무판을 깔고 하면 좋다.

용매로 적시여 봏는 법. 그대로는 잘 봏아지지 않는 물질을 용매로 적시면 쉽게 봏아지는 경우가 있다.

물질을 용매에 용해시켰다가 용매를 증발시켜 가루내는 방법. 례를 들어 린을 이류화탄소에 용해시켰다가 이류화탄소를 증발시키면 린은 극히 미세한 알갱이로 된다. 이때 발화되기 쉬우므로 주의해야 한다.

용해되기 쉬운 물질을 가루내는 법. 용해되기 쉬운 물질은 그것을 일단 용해시켜 휘젓거나 흔들면서 랭각하면 보드랍게 될수 있다.

4) 많은 량의 분쇄

알맞는 분쇄기를 리용한다. 분쇄기는 그 용도에 따라 조분쇄기, 중분쇄기, 미분쇄기 등으로 구분한다.

압력을 더 주면 덩어리로 되는 물질을 가루내는 방법. 약절구 등으로 짓이기려고 할 때 일부러 가루낸것이 오히려 한 덩어리로 되는 경우가 있다.

이런 경우에는 회전하는 2개의 쇠그물원통사이에서 짓이기면서 원심력으로 가루로 된 부분을 갈라낸다.

액체가 포함된 녹신녹신한 물질을 가루내는 방법. 가정용전기혼합기를 써서 잘게 한다.

5) 가루(분말)의 크기

여러가지 방법으로 봏아서 얻은 시료의 알갱이를 고루게 추리며 또한 크기(립도)를 규격에 맞추기 위하여 표준채를 사용한다.

채와 채구멍의 크기

채의 번호	채구멍의 크기			채뿌리의 크기		메쉬*)의 개략수
	척도/mm	공차 %				
		평균	최대	직경/mm	공차/mm	
1	4.8	±2.5	10	1.4	±0.04	4
2	2.8	±3	10	0.90	±0.03	7
3	2.0	±3	10	0.80	±0.03	10
4	0.85	±5	25	0.40	±0.025	20
5	0.30	±6	30	0.18	±0.015	50
6	0.15	±6	40	0.10	±0.015	100
7	0.075	±8	50	0.05	±0.010	200

※ 채구멍의 크기를 표시하는 단위이다. 1인치(25.4mm)사이에 있는 구멍수를 메쉬라고 한다. 례컨대 50메쉬라는것은 1인치사이에 채구멍이 50개 있다는것이다. 채구멍의 간격은 채뿌리(채를 만드는 줄)의 중심과 중심사이의 거리를 의미하므로 채뿌리의 굵기는 채구멍의 수와 관계가 있다.

6) 가루낼 때 주의할 점

가성소다나 생석회와 같이 알카리성이 세여 피부에 묻으면 상하게 하는 성질이 있는것을 분쇄할 때에는 될수록 깊고 깨끗한 쇠절구에 조금씩 넣고 튀여나는것을 막기 위해 든든한 천으로 아구리를 덮고 천 한가운데 공기가 통할만한 구멍을 내여 대체로 알맞는 크기로 봏은 다음에는 말리워두었던 병에 곧 옮겨서 마개를 잘 막는다.

한꺼번에 많이 봏으려면 좀처럼 봏아지지 않으며 또한 습기를 흡수할 우려가 있다.

시안산칼리움과 같이 공기중에서 봏을 때 유독한 가스를 내는것은 습기가 적은 맑은 날에 밖에서 공기가 잘 통하는 곳에서 우에서와 같이 천을 뒤집어 씌워 가루가 날아나지 않게 하며 재빨리 봏아서 말리워두었던 병에 조심스럽게 옮긴다.

류화철이나 탄산칼시움을 키프장치에 넣는 경우에는 분쇄하지 않고 잘게 깨려고할 때에는 약절구가 아니라도 판돌과 같은 굳은 돌우에서 망치로 두드려도 된다.

망치대신 약절구공이를 쓸 때에는 공이를 가로 잡고 두드리면 공이

가 부러질수 있으므로 세로 잡고 내리찧어야 한다.

고정대의 틀이나 고정집게를 망치대용으로 쓰지 말아야 한다. 그것은 주철이므로 두드리면 반드시 부러질수 있기때문이다.

제2절. 혼합과 용해

1. 혼합

서로 다른 시약가루를 충분히 혼합하는 조작은 약을 제조할 때 자주 적용하지만 화학실험에서는 그리 적용하지 않는다.

실험에서 서로 다른 시약을 혼합할 때 특별히 주의해야 할 점은

① 그것들을 혼합할 때 마찰로 인하여 불이 일어나거나 폭발하는 경우가 있다는것.

② 마른것들을 혼합하기만 해도 겉보기에는 젖은것처럼 보이는 경우가 있다는것이다.

혼합하는 법. 실험실에서 혼합을 하려면 많은 경우에 약절구면 충분하다. 산화되기 쉬운것과 산화제를 섞을 때에는 특별히 ①에 주의를 돌리는것 중요하다.

례: 류황이나 숯가루를 염소산칼리움과 혼합하는 경우

이와 같은 위험성있는 물질을 섞을 때에는 두 물질을 종이우에 조금씩 떠놓고 약주걱으로 가볍게 뒤섞으면 좋다.

2. 용해

물질이 다른 물질에 풀리면서 고르롭게 퍼지는 현상을 용해라고 부른다.

물질을 용해(추출, 재결정화)할 때 쓰이는 용매의 목적에 따라 적당한것을 골라써야 한다.

우선 물질이 어떤 용매에 용해되겠는가를 보자.

1) 어떤 용매에 용해되는가

어떤 물질이 어떤 용매에 용해되겠는가를 예견하게 하는 일반적규칙은 없다. 주로 경험에 의거할수밖에 없다. 그러나 제한된 범위에서는 화합물의 조성을 보아 어떤 용매에 용해되겠는가, 용해되지 않겠는가를

예견할수 있는 경우도 있다.

례를 들어 무기산, 유기산의 알카리금속의 염들은 일반적으로 물에 용해된다.

유기화합물의 물에 대한 용해도는 일반적으로 탄소의 함량이 커짐에 따라 감소하며 산소의 함량비가 커짐에 따라 증가한다.

다가알콜류와 같이 히드록실기가 많이 달린 화합물은 물에는 잘 용해되나 보통 에테르에는 잘 용해되지 않는다. 산의 중금속염들가운데서 지방산계통화합물의 연염은 에테르에 용해되는 특성이 있다. 동염도 때로는 유기용매에 용해된다. 또 어떤 종류의 암모니움염은 클로로포름에 잘 용해된다.

염들가운데서 알콜에 용해되는것은 일반적으로 알카리금속염뿐이다.

2) 히드로트로피

물에 전혀 용해되지 않는 물질 혹은 잘 용해되지 않는 물질도 어떤 종류의 염의 수용액에는 용해되는 일이 있다. 이런 현상을 히드로트로피라고 부른다.

이런 현상을 일으키는 물질은 모두 유기화합물의 고리화합물 또는 사슬식화합물의 일부 염들이다.

히드로트로피의 세기는 일반적으로 히드로트로피를 나타내는 염용액의 농도에 따라 다르다.

례: 크레졸은 물에는 용해되지 않으나 칼리움비누에는 용해된다.(크레졸비누물)

대다수의 고무나 수지도 살리칠산나트리움의 질은 용액에 용해된다.

히드로트로피작용은 다만 불용성 또는 난용성의 유기물질을 용액으로 만들뿐아니라 무기물질에도 적용된다.

실례를 들면 안식향산, 살리칠산, 이소왈레리안산의 염류수용액은 탄산마그네시움, 탄산칼시움, 린산마그네시움 등을 용해시킨다.

3) 용해법

용해과정을 빨리 진행되도록 하기 위한 조건

① 용액을 저어주면 용질이 빨리 용해된다.

② 용질알갱이의 겉면적을 크게 할수록 용질은 더 빨리 용해된다.

③ 용액의 온도를 높여줄수록 용질은 더 빨리 용해된다.

④ 물질을 짙게 용해시킬 때 또는 완전용해되지 않으리만큼 적은

량의 용매를 쓰는 경우에는 조심하지 않으면 분말로 만들었던것이 다시 덩어리로 되면서 용해되지 않는 경우가 있다.

탈수시킨 염류나 시안화칼리움을 질게 물에 용해시키려면 우선 물을 그릇에 넣고 휘저으면서 조금씩 염류를 넣는다. 이것을 반대로 하면 일부는 용해되여도 나머지는 굳은 덩어리로 되고 만다.

제4절. 가 열

일정한 온도범위내에서는 온도가 올라가면 화학반응속도는 매우 빨라진다.

온도의 변화는 반응속도와 밀접히 관계될뿐아니라 반응물림새를 변경시키는 경우도 있다.

1) 열원

열원으로서는 연소열, 반응열, 전열이 있다.

① 연소열

연소열로서는 석탄가스 및 가스버너, 알콜버너와 석유버너, 수소 및 산소가스버너가 있다.

— 석탄가스: 석탄가스의 성분은 석탄의 종류에 따라 또는 가스제조온도에 따라 약간의 차이가 있는데 공기의 공급을 불충분하게 하고 불을 붙이면 밝은 빛의 불길을 내면서 연소된다. 이것은 주로 불포화탄화수소가 분해되여 탄소가 석출되는데 석출된 탄소는 불길속에서 가열되여 불길에 빛을 나타내게 한다. 그러므로 석탄가스에 다량의 공기를 혼합하여 연소시키면 석출된 탄소는 완전히 타버리고 불길은 빛을 잃는다.

— 가스버너: 가스를 버너에 불어넣고 동시에 버너의 밑에 있는 구멍으로부터 적당한 량의 공기를 불어넣으면서 연소시킨다.

— 알콜버너와 석유버너: 큰 열원에는 취사용석유곤로. 알콜버너를 사용하며 화학실험에서는 그의 목적에 적합하게 만든 버너를 쓰고있다.

— 수소가스버너: 순수한 수소가스가 타면 약 2 000℃에 달한다. 수소는 수소봄베에서 압력조절변에 의하여 임의의 버너에 보내고 버너의 통기구멍을 완전히 막고 불을 붙여 연소시킨다.

— 폭명가스버너: 산소 1체적과 수소 2체적의 혼합가스는 약 3 000℃의 온도를 보장한다.

— 아세틸렌-산소버너: 아세틸렌과 산소의 혼합가스의 연소열을 리용하는데 3 000℃의 온도를 보장할수 있다.

② 반응열

Al가루와 산화철과의 혼합물에 마그네시움띠로 불을 붙이면 곧 반응이 일어나 약 3 000℃의 높은 온도에 달한다.(알루미니움테르미트법)

이 열원은 특수한 경우에만 사용된다.

③ 전열

금속선에 전류를 통과시켰을 때 금속선에 생기는 줄열 또는 아크등이 발생하는 전열을 사용한다.

2) 가열하는 방법

① 직접 가열하는 방법

시험관속에 들어있는 적은 량의 물질 또는 액체를 가열하거나 급히 가열하고 급히 랭각시킬 필요가 있을 때 진행한다. 이때에는

첫째로, 가열하려는 그릇의 바깥면은 건조되여 있어야 하며

둘째로, 약한 불길로 가열하여야 하며

셋째로, 액체가 들어있는 유리그릇에서는 불길이 액면에 닿지 않게 하여야 한다.

시험관을 쥐는 방법. 시험관아구리에 될수록 가까운 곳을 손가락으로 가볍게 그리고 정확히 쥐고 손목관절을 부드럽게 움직인다. 특별한 경우를 제외하고는 될수록 시험관집게로 쥐지 말아야 한다.

시험관속에 있는 액체가 소리를 내면서 흔들릴 정도로 시험관을 흔들지 않으면 직접 가열할 때에는 급작스레 끓어올라 액체가 시험관에서 튀여나올수 있다.

액체의 량. 시험관높이의 1/3이상을 넣어서는 안된다. 많은 량을 넣으면 액체의 흔들림이 전혀 일어나지 않는다.

시험관을 흔드는 방법. 손목을 흔드는 대신에 액체를 약간 가열한 다음 시험관을 쥐지 않은 쪽의 손바닥으로 시험관의 밑바닥을 가볍게 두드리면서 다시 약간 가열하고 또다시 두드리는것도 좋은 방법이다.

② 간접적으로 가열하는 방법

직접 가열하는 경우 기구가 파손될수 있으므로 고르롭게 유리기구를 가열하면서도 기구가 파손되는것을 방지하기 위하여 다음의 방법을 쓴다.

— 석면포로 싸서 가열한다.

플라스크밑부분처럼 직접 불길이 닿는 곳은 물에 적신 석면포로 싸고 그것을 서서히 말린 다음 그릇의 바깥에 얇은 석면층을 만든다.

— 얇은 동의 층을 만들어서 가열한다.

목적하는 부분에 흑연을 바르고 이것을 음극으로 하여 류산동용액에 잠그고 동쪼각을 양극으로 하여 전기분해하면 동은 흑연우에 얇게 붙는다.

— 금망우에 놓고 가열한다.

가열부분을 금망으로 싸서 가열한다. 금망중심에 석면을 붙인것은 비커나 삼각플라스크 같은 밑바닥이 평평한 그릇을 올려놓고 가열하는 것이 적당하다.

밑이 둥근것은 금망의 석면부분이 둥글고 우무러든것을 사용한다.

— 가열욕

석면체 반구모양의 욕조로서 그 밑바닥중심에 구멍이 있는데 그곳에 버너의 몸통을 꽂아넣는다.

욕조웃면에 설치되여있는 금속그물우에 가열하려는것을 놓는다. 이것으로 가열하면 불길이 흔들리는 일이 없고 열도 넓게 퍼져서 충분히 가열된다.

③ 여러가지 가열욕을 리용하는 방법

우의 방법은 지나치게 가열될 우려가 있고 위험하기도 하다. 또한 불길이 너울거릴 때마다 온도변화를 가져오는 결함이 있다. 이런 결함은 욕을 사용하면 방지할수 있으므로 증류할 때에는 될수록 욕을 사용한다.

욕에서 사용하는 물질을 알맞게 선택하면 불길크기에는 관계없이 일정한 온도로 가열할수 있다.

— 수욕

욕에 물을 사용한것인데 가열하려는 기구를 이 물속에 잠그어두면 100℃이하의 일정한 온도로 가열할수 있다.

— 수증기욕

가열하려는 기구를 수욕의 물속에 잠그지 않고 그곳에서 발생하는 수증기에 접촉되게 한것이다.

— 증기욕

일정한 범위의 온도에서 끓어오르는 물 이외의 물질 또는 그의 혼합물의 증기를 사용한것이다.

— 기름욕

욕내의 액체로서 기름을 사용하는 욕이다.

기름으로는 참기름, 아마기름, 피마주기름, 올리브기름, 돼지기름, 유채기름 등이 사용된다. 적당한것은 참기름이다.

기름욕은 100℃이상으로 가열할 때에 사용하는것이므로 플라스크는 반드시 기름욕에 잠그고 사용한다.

주의할 점은 온도가 높아지고 연기가 몹시 나면 불이 당길수도 있다는것이다. 또한 기름에 물이 섞이지 않도록 해야 한다.

— 글리세린욕

약 120℃까지 가열하는데 적당하다. 류산욕보다 오랜 시간 투명한 상태를 유지할수 있는 좋은 점이 있다.

— 파라핀욕

약 210℃까지 가열할수 있다.

— 류산욕

류산의 끓음점은 338℃이다. 여기에 류산칼리움을 넣으면 360℃까지 가열할수 있다.

— 금속욕(합금욕)

높은 온도가 요구되는 경우에는 비교적 낮은 온도에서 녹는 금속 또는 합금을 리용한 욕을 사용한다.

— 모래욕

가열하려는 부분을 포개접시(얇은 철판으로 만든 접시) 또는 철로 만든 그릇에 들어있는 모래속에 파묻고 균일하게 가열하는 욕이다.

— 공기욕

가열된 공기로 목적물을 가열하는데 사용하는 욕이다.

제5절. 휘젓기

1) 휘젓는 목적

여기서는 섞는 한쪽 또는 량쪽 물질이 액체인 경우와 액체와 기체인 경우를 본다.

① 둘 또는 그 이상의 물질을 고르게 섞을 때

이 물질들을 섞거나 흔들어 섞음으로써 용해과정을 빠르게 하거나 또한 화학반응을 빨리 진행시킬수 있다.

② 매 부분의 온도를 고르게 할 때

그릇에 들어있는 액체를 식히거나 덥힐 때 휘저어주면 온도가 빨리 고르게 된다.

③ 결정막을 없앨 때

증발시킬 때 액면에 결정막이 생긴다면 그릇에 뚜껑을 씌우고 증발시키는것과 같으므로 쉬임없이 저어서 이 결정막을 없애준다면 빨리 증발시킬수 있다.

2) 휘젓는 방법

휘젓는 방법에는 손으로 휘젓는 방법과 동력으로 휘젓는 방법이 있다.

① 손으로 휘젓는 방법

－ 유리막대기로 휘젓는 방법

두께가 얇은 유리비커나 플라스크속의 시료를 유리막대기로 저으면 그릇을 깰수 있다. 유리막대기 대신 량끝을 녹여서 봉한 유리관을 쓰면 가벼워서 좋지만 그래도 조심해야 한다.

유리막대기의 아래끝에 짧은 고무관을 씌워서 쓰면 안전하다.

－ 온도계로 휘젓는 방법

휘젓는 동안 혼합물의 온도를 계속 알아야 할 필요가 있을 때에는 온도계 그 자체를 교반막대기로 쓸수 있다. 이때 비커나 플라스크뿐만 아니라 때로는 온도계의 수은구부분같은것을 깨뜨릴수 있기때문에 조심해야 한다.

② 동력으로 휘젓는 방법

재빠른 휘젓기나 오래동안 휘젓기를 하려고 할 때에는 수차 또는 전동기를 리용한 교반기를 쓴다.

여기서는 전동기를 리용한 교반기에 대해서만 보기로 한다.

교반기에는 종류가 많지 않지만 제각기 특성이 있다.

교반기에는 교반막대기를 전동기(또는 수차)에 직접 련결하여 회전시키는것도 있지만 보통 교반막대기의 웃부분에 활차를 달아서 피대를 감아 회전시킨다.

교반막대기의 모양에는 여러가지가 있는데 그중 하나가 유리관끝을 녹여서 평평한 원판모양으로 하고 그 축아래부분을 약간 구부린것이다. 또한 전동기를 리용한 교반기외에도 자석교반기같은것도 있다.

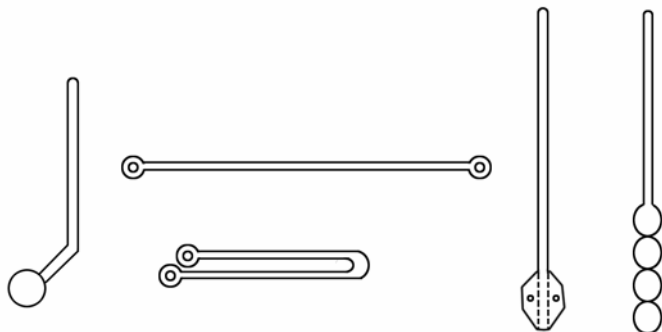



그림 2-1. 교반막대기의 종류

3) 흔들어섞기

① 흔들어섞기의 목적

주로 휘젓기목적 ①에 서술한것과 같은 목적에 쓰인다.

흔들어섞기는 물과 섞이지 않는 용매로서 수용액으로부터 물질을 추출하는 경우나 나트리움아말감으로 접촉환원을 진행할 때 등에 쓰인다.

② 흔들어섞기에 쓰이는 장치

흔들어섞기에 쓰이는 장치에는 여러가지가 있는데 여기서는 진탕기에 대해서만 보기로 한다.

심하게 흔들어 섞을 필요가 있을 때나 오래동안 흔들어 섞어야 할 때 또는 많은 량의 물질을 흔들어 섞어야 할 경우에는 진탕기가 필요하다. 이때 동력으로서는 수차, 전동기 등을 사용한다.

제6절. 증발

끓음점차가 큰 두 액체(례하면 물과 글리세린) 또는 고체용질과 용매의 분리, 용액을 농축하거나 건조시킬 때 증발이라는 조작을 한다.

증발에는 다음과 같은 세가지 방법이 있다.

① 공기중에서 증발시키는 방법

② 증류하여 대부분의 용매를 제거하고 증발시키는 방법

③ 감압장치에서 증발시키는 방법

휘발성과 인화성이 있는 용매가 풀려있는 용액은 ②, ③방법을 적용한다.

여기서는 공기중에서 증발시키는 방법만을 보기로 한다.

많은 량의 증발을 진행하는것은 수용액에 대해서만 한다.

① 증발접시의 종류

— 유리로 만든 증발접시

어지러워진것이 잘 보이므로 그것을 그대로 쓸 우려는 없다.

보통 직경 10cm이하인것이 많은데 이것은 정밀실험에 적당하다.

— 사기로 만든 증발접시

흰색의 유약이 발라져있어 색을 띤 용액을 사용할 때 색변화가 잘 알리므로 편리하다.

— 연으로 만든 증발접시

비교적 짙은 류산에도 작용하지 않으므로 류산농축에 사용한다.

— 니켈로 만든 증발접시

니켈이 높은 온도에서도 녹지 않는 성질을 리용하여 결정수를 떼여내거나 녹음점이 낮은 금속을 녹이는데 사용한다.(례: 무수초산나트리움을 만들 때)

— 은으로 만든 증발접시

열에 대해서는 니켈로 만든것보다 안전하지 못하다. 센 알카리성용액을 증발시키거나 알카리와 함께 녹이는 실험에 사용한다.

— 백금으로 만든 증발접시

값이 비싼것이 결함이지만 사용하기는 매우 좋다.

용액속의 증발잔류물을 측정하고 그 속의 유기물을 태워 재로 만든다음 다시 측정하여 그 차로부터 유기물속의 회분함량을 측정하는 일등에 사용한다.

백금기구는 다른 금속과 접촉시켜 가열하지 말고 비소, 린 등의 화합물, 알카리성물질이나 할로겐을 내보내는 화합물과 가열하지 말며 탄소를 흡수하지 않게 주의하면 얼마든지 오래 쓸수 있다.

— 석영으로 만든 증발접시

급격한 온도의 변화에 대해서도 매우 안정한데 가열한것을 갑자기 물로 랭각시켜도 마사지는 일이 없다. 또한 산에 대하여서는 매우 안정하지만 알카리에 대해서는 매우 약하므로 알카리성용액은 석영기구로 절대로 취급하지 말아야 한다.

값이 비싼데 비하여 매우 부스러지기 쉬우므로 특별한 경우를 제외하고는 쓰지 않는다.

② 증발접시를 가열하는데 쓰는 욕

끓음점이 100℃이하인 액체를 증발시킬 때에는 수욕의 온도를 조절하여 사용하면 충분하다.

에테르처럼 끓음점이 낮은것을 증발시키는데는 수욕의 끓는 물우에 놓고 그 밑의 불을 끄고 쓴다.

온도가 조금 올라가도 분해될 우려가 없다면 모래욕 및 금망우에서 가열해도 된다. 이때 주의할것은 증발접시보다도 욕이 작을 때 큰 불꽃으로 가열하면 욕밖에 불꽃이 튀여나와 그곳에 있는 증발접시를 높은 온도로 가열시켜 그 근방에 석출된 결정체를 태워버릴수 있다.

또한 증발접시(특히 깊지 않은 시계접시 같은것)에서 증발할 때에는 액이 증발접시의 가장자리로 퍼져올라가 바깥면에 넘어서 그곳에 고체가 석출되여 곤난할 때가 있다. 그런 경우에는 그것을 좀 더 크고 깊은 증발접시안에 놓고 증발시키면 얕은 접시의 가장자리는 큰 접시의 안벽에 접하게 되므로 밑부분보다 가장자리쪽의 온도가 높아져서 거기에 고체(결정체)가 석출되여 《제방》을 만들므로 가장 자리를 넘어서 고체가 석출되는 일은 없다.

③ 빨리 증발시키는 방법

대기중에서 증발시킬 때 증발을 빨리 시키기 위한 가장 중요한 조건은 액체겉면을 넓히는것과 증기로 포화된 공기를 그곳으로부터 끊임없이 몰아내는것이다.

때문에 될수록 평평하고 높지 않은 접시를 사용하면 좋다.

수류뽐프로 수증기가 포함된 공기를 뽑아낸다.

수증기로 포화된 액면우의 공기를 쉽게 제거하려면 증발접시우에 적당한 크기의 깔때기를 거꾸로 세우고 그것이 공기에 의하여 랭각되여 역류랭각기의 작용을 못하게 외부면을 천으로 싸주고 깔때기의 관구멍을 고무관으로 수류뽐프와 련결하여 흡인한다.

마른 공기는 깔때기의 가장자리와 증발접시의 짬을 통하여 깔때기안에 들어오며 이것이 액면에서 나온 증기와 함께 뽐프에 흡인되므로 비교적 빨리 증발한다.

수류뽐프는 단위시간에 빨아내는 공기의 체적이 다른 뽐프보다 적기때문에 증발접시의 깔때기사이의 짬이 너무 크지 않도록 하여야 한다. 이 방법으로 하면 증발시키는 액체가 인화성물질인 경우에도 그 량이 적다면 불붙을 우려는 없다.

또한 염산과 같은 휘발성물질인 산을 포함하는 액체라도 그것이 실내에 퍼지는것을 방지할수 있다.

선풍기를 사용하여 수증기로 포화된 공기를 몰아낸다.

전기선풍기로 바람을 불어주면 끓는 수욕우에 설치한 증발접시속의 액의 온도는 50~60℃밖에 올라가지 않고도 증발이 빨리 되므로 온도를 높이지 말아야 할 액체의 증발에는 매우 적당한 방법이다.

선풍기를 사용할 때와 같은 원리로서 공기가 잘 통하는 통풍실에서 증발시키거나 바람이 부는 야외에서 증발시키는것도 증발을 빨리 시키는 방법으로 되고있다.

용액이 증발하여 어느 정도 질어지면 액면에 결정막이 씌워지거나 또는 액체가 걸죽해지는 때가 있다. 이렇게 되면 증발이 몹시 떠지는데 이런 경우에는 유리막대기로 걸죽해진 결정막을 저어주면 좋다. 교반기로 계속 저어주면 더 좋다.

제7절. 분리조작-려과

고체와 액체를 갈라내는 간단한 방법이 려과이다. 려과에 의하여 미세한 알갱이도 갈라낼수 있다.

1) 려과재료

① 려지

화학조작의 발전으로 려과방법에도 일정한 변화가 있었는데 려과재료로서의 려지는 값이 눅으면서도 취급상편리하므로 현재까지 그 용도는 줄어들지 않고 오리여 커졌다.

리상적인 려지는 침전물이 미세하여도 통과시키지 않으면서도 빨리 려과하는것을 말한다. 그런데 실지 이 조건들은 서로 만족되지 않는다.

구멍이 거칠면 려과속도가 빨라지고 침전물도 빠져나오기 쉽다. 려지의 겉면모양이 거칠면 구멍이 거칠고 모양이 미세한것은 구멍이 조밀하다고 말할수는 없다.

보통 려지의 직경은 7cm, 9cm, 11cm이다.

려지는 구멍의 크기에 따라 세가지로 나눈다.

붉은띠려지(성긴것). 가장 성긴 려지로서 구멍의 직경은 0.1mm정도이다. 수산화철 또는 수산화알루미니움같은 무정형침전물을 려과할

때 쓴다.

누런띠(또는 흰띠) 려지(보통 성긴것). 중간정도로 성긴 려지인데 구멍의 직경이 0.05mm정도이며 싱아산칼시움과 같이 좀 굵은 결정성침전물(침전물알갱이 직경이 0.1mm이상)을 려과하는데 쓴다.

푸른띠려지(밴것). 구멍이 가장 작은 려지인데 류산바리움 $BaSO_4$과 같이 아주 작고 미세한 결정성침전물을 려과할 때에 쓴다.(침전물알갱이 직경이 0.01mm이상)

② 기타 려과재료

려과천(무명, 베, 모시), 팔프, 석면, 모래, 유리솜 같은것이 있다.

모래는 알갱이크기가 같은 보드라운것으로 염산과 함께 끓인 다음 물로 잘 씻고 세게 가열하여 사용하는데 이것은 센산려과에 적중하다.

유리솜은 센산이나 알카리를 려과하는데 사용하는데 려과속도가 빠른것이 특징이다.

2) 려과방법

려지를 1/4원이 되게 끔 접고 그것을 원추모양으로 펴서 깔때기안에 끼운다.

려지를 깔때기안에 끼울 때 물로 적시고 손가락끝으로 눌러붙여 잘 밀착시켜 놓는다.

려과후 세척은 려지의 웃끝부분과 모서리부분을 잘 하여야 한다.

려지의 웃끝은 깔때기의 웃끝보다 적어도 3~5mm 낮게 한다. 려지가 깔때기보다 올라오거나 혹은 사각려지를 그대로 써서 그 모서리가 깔때기밖으로 솟아나오게 하는 등 거칠게 해서는 안된다. 이런 식으로 려지를 쓰면 솟아나온 부분에 모세관작용으로 빨리워 올라온 액을 완전히 씻어내리기 곤난하다.

려지와 깔때기는 침전물이 필요할 때에 그 량에 따라서 적당한 크기의것을 골라 써야 한다. 쓸데없이 큰 려지를 쓰면 침전물이 려지에 붙어 잃는 량이 많아지고 세척액도 많이 쓰게 된다.

려과할 때 먼저 려액과 같은 액체 즉 알콜용액이면 알콜로 려지를 적신 다음 깔때기를 적당한 받침대에 설치하고 깔때기관의 밑끝은 그릇의 안벽에 붙인다. 깔때기의 밑끝과 그릇을 떼여놓으면 려액이 튀여나오게 된다.

려과할 액을 려지우에 부어넣을 때에는 액이 바깥에 흘러 떨어지지 않게끔 려과할 액이 든 그릇아구리에 작은 유리막대기를 대고 부어야 한다.

려과할 액은 려지의 웃끝에서 약 5mm아래까지 채운다. 가득 채우면 세척할 때 침전물이 려지와 깔때기짬으로 들어가 려액속에 섞이게 된다.

깔때기의 안벽과 려지사이를 떨어지게 하고 려과를 빠르게 하는 방법. 려지가 깔때기의 안벽에 붙어있으면 려과면이 그만큼 작아지며 려과가 떠지므로 가는 유리막대기와 같은것을 깔때기의 안벽과 려지와의 사이에 끼운다. 유리막대기를 적당한 방법으로 고정하고 그릇속에 떨어지지 않게 한다. 또는 안면이 볼록볼록한 깔때기를 쓰거나 주름잡힌 려지를 쓴다.

주름잡힌 려지로 려과하는 방법. 침전물을 얻어내는것이 아니라 단순히 용액으로부터 불필요한 침전물을 없애야 할 경우에 이 방법을 쓴다. 다만 려과시간이 긴것이 결함이다.

려지의 밑이 뚫어지지 않게 하는 방법. 많은 량의 액을 큰 깔때기에서 려과할 경우에 려지의 밑끝이 액의 무게에 견디지 못하여 뚫어지는 경우가 있다. 주름잡힌 려지를 쓰는 경우에 특히 이런 우려가 더 많다.

밑부분이 뚫어지지 않게 하기 위해서는 구멍이 많이 뚫린 얇은 사기제의 덧깔때기를 깔때기의 밑에 놓고 려지의 아래부분이 덧깔때기에 의해 잘 받쳐지게 한다.

려액속에 려지의 섬유가 들어가지 않게 하는 방법. 보통려지는 그의 섬유가 떨어져 려액속에 섞이기 쉽다. 여러번 용매로 씻어 섬유를 뗄수 있는데까지 떼여버린 려지는 어느 정도까지는 안정하지만 완전하다고는 말할수 없다. 이런 경우에는 섬유가 떨어지지 않는 경질려지를 쓴다. 또한 보통려지를 사용할 때에는 려지의 바깥쪽을 물로 잘 씻어 건조하고 조밀한 명주천을 놓고 섬유를 려과하는 방법을 일반적으로 쓰고있다.

새여나오기 쉬운 침전물을 려과하는 방법. 성긴 려지를 쓰므로 하여 침전물이 새여나올 때에 같은 려지로 반복하여 려과하면 침전물에 의하여 려지의 구멍이 메여져 완전히 맑은 려액이 얻어지는 일이 많다. 이 경우에는 려과보조제(활성탄, 려지섬유, 규조토, 산성백토 등)를 넣어 액속의 미세한 알갱이를 이것에 흡착시켜 보통방법에 의해 려과하여 맑게 하는 방법을 쓴다.

려지의 구멍을 메우게 하는 침전물을 빨리 려과하는 방법. 흐린액을 그대로

려지우에 옮기면 침전물이 작고 점착성을 띠므로 려지의 구멍이 메여져 려과하는데 시간이 걸린다.

우선 액을 가만히 놓아둔 후 비교적 맑은 웃부분의 액부터 려과를 시작하고 마지막에 침전물을 려지우에 옮기면 빨리 려과시킬수 있다.

두장의 려지를 써서 빨리 려과하는 방법. 깔때기안에 두장의 려지를 끼운다. 안쪽에는 성긴 려지를, 바깥쪽에는 필요한 정도로 구멍이 작은 려지를 쓴다. 안쪽려지의 구멍이 메워져 려과가 떠지면 그 려지만을 끄집어내고 려과를 계속한다. 이렇게 하면 한장의 구멍이 작은 려지를 써서 자주 갈아끼우는 경우에 비하여 시간이 단축된다.

결정이 석출되기 쉬운 뜨거운 용액을 려과하는 방법. 화합물을 재결정화할 때 조금 랭각하면 즉시로 결정이 석출되는 뜨거운 용액을 려과할 때 량이 많으면 주름잡힌 려지를 쓴다.

깔때기는 미리 가열하여 쓴다. 또한 가열한 사기깔때기는 유리깔때기보다 잘 식지 않으므로 이것으로 안전하게 려과할수 있다. 이렇게 주의를 하여도 결정이 석출되면 보온려과를 하여야 한다.

잘 흘러내리지 않는 침전물을 포함한 액을 려과하는 방법. 플라스크나 병을 잘 뒤흔들어 침전물을 부유시키고 그 아구리에 려과깔때기의 려과면을 씌워 재빨리 이것을 거꾸로 세우면 얼마간의 액은 려과기에 흘러나오지만 그 후에는 깔때기에 나온 액이 플라스크의 아구리를 막으므로 플라스크는 거꾸로 세워놓아도 그 안의 액은 흘러나오지 않는다.

플라스크의 아구리가 깔때기에 나온 액속에 잠그어진 상태에서 플라스크의 위치를 집게로 고정시켜놓으면 오랜 시간이 걸려 침전물이 플라스크의 아구리주변에 모이므로 려과조작은 퍽 쉬워진다.

3) 침전물을 씻는 방법

침전물을 려과분리하는 경우에 려액의 일부는 침전물과 려과기 등에 남아있게 되므로 그 상태로는 침전물이 불순한 상태에 있게 되며 또한 려액도 손실된다. 따라서 적당한 세척액으로 씻는데 세척액속에 씻어내리는 용질이 나오지 않을 때까지 침전물을 거듭 씻는다.

리론에 의하면 몇번 반복하여 씻어도 항상 씻은 액의 일부는 려과기안에 남아있게 되므로 완전히 씻어내기는 불가능하다. 다만 침전물에 붙어있는 용질의 량이 눈에 뜨이지 않을 정도까지 씻어내면 완전히 세척되였다고 본다.

또한 아무리 난용성침전물이라고 해도 세척액에 전혀 용해되지 않는 일이란 없으므로 세척액은 될수록 적은 량으로 또 충분히 세척효과가 있게끔 사용해야 한다.

이를 위해서는 원칙적으로 한번 세척하는데 쓰이는 액은 이 액으로 침전물이 잠길 정도로 하며 한번 부은 세척액이 완전히 빠지기 전에는 세척액을 더 붓지 말아야 한다.

세척액은 일반적으로 려액과 같은 용제로 하는것이 원칙으로 되고 있다.

려액이 수용액이면 물로, 에틸알콜용액이면 에틸알콜로 씻는다. 그러나 수용액속에 생긴 침전물을 씻는 물은 꼭 증류수에만 국한되는것은 아니다.

증류수대신 보통물, 경수 때로는 다른 화합물을 넣은 액으로 씻어도 미세한 침전물이 려지우에 남아있게 되는 경우가 있다.

제8절. 증류

1) 증류방법

증류방법에는 상압증류, 분별증류, 감압증류, 수증기증류가 있다.

두 종류이상의 물질을 포함하고있는 혼합물에 비휘발성고체가 불순물로 포함되여있다면 재결정화로 그것을 분리할수 있다.

기화될수 있는 고체나 액체가 포함되여있는 경우에는 가열하여 기화시켜 그 증기를 랭각하거나 응축시키는 방법으로 분리할수 있다.

이 방법에는 증류와 승화의 두가지 방법이 있다.

액체는 일반적으로 그 끓음점이하로 가열하여도 기화된다. 그러나 그것은 증발이고 증류는 아니다.

증류란 물질을 끓음점까지 가열하여 기화시킨 다음 그것을 랭각하여 다시 본래의 물질로 되돌아가게 하는 방법이다. 즉 증류는 어떤 온도에서 서로 다른 물질의 증기압차를 리용하여 그것들을 분리 혹은 정제하는 방법이다.

2) 상압증류에 쓰이는 기구

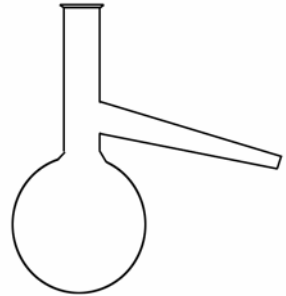
가지가 달린 증류플라스크와 가지관을 구부린 증류플라스크 등이 있다.

여기서는 가지가 달린 증류플라스크만을 보기로 한다.(그림 2-2)

대부분 분별증류에 사용되므로 분별증류플라스크라고도 한다.

물질의 증기는 플라스크의 목을 따라 올라가서 곧 가지관으로 들어가게끔 되여있으므로 매우 주의하여 증류하면 물질의 증기가 마개와 접촉하는 일이 적어지고 증류가 잘 된다.

그림 2-2. 증류플라스크

또한 이 플라스크를 앞뒤로 약간 기울어지게 하여 사용하면 증기가 마개와 접촉하였다해도 그 응축액은 플라스크목의 안벽을 따라 흘러내려 가지관안에 흘러들어가는것을 방지할수 있다. 따라서 증류한 액은 오염되지 않고 매우 깨끗해진다.

이런 종류의 플라스크는 가지관이 웃부분에 달린것과 아래부분에 달린것 등이 있으나 증류하는 물질의 끓음점이 높은가 낮은가에 따라 적당한것을 선택하여야 한다.

끓음점이 낮은 물질을 증류할 때에는 가지관이 웃부분에 달린것을 쓰고 끓음점이 높은것을 증류할 때에는 가지관이 아래부분에 달린것을 쓴다.

끓음점이 높은것을 증류할 때 가지관이 웃부분에 달린것으로 증류하면 매우 세게 가열하여도 증기는 가지관까지 올라가지 못한다.

가지관이 달려있는 곳으로부터 아구리까지의 거리가 될수록 긴것을 선택하여야 증류할 때 온도계의 눈금전체가 목안부분에 있게 된다. 이렇게 되면 온도가 정확히 측정될뿐아니라 증기는 대부분 마개와 접촉됨이 없이 증류된다

플라스크의 목과 가지관은 약간 굵은것이 더 좋으며 가지관의 끝도 경사진것이 좋다.

증류기와 랭각기를 련결하는 방법에는 랭각기를 경사지게 설치하는 방법과 랭각기를 수직으로 설치하는 방법이 있다.

증류액을 받는 그릇에는 일정한것이 없고 각종 플라스크와 유리병 등을 사용한다.

여기서는 상압증류법에 대해서만 보기로 한다.

3) 상압증류법

① 액을 증류기안에 넣는 방법

증류할 액체를 보통증류플라스크속에 부어넣을 때에는 액이 가지관내에 흘러들어가지 않도록 주의하여야 한다. 그러자면 끝이 매우 긴 깔때기를 사용하여야 한다. 그래야 깔때기의 끝이 가지관의 아래부분까지 내려갈수 있다.

에테르와 같이 휘발성이 크고 또 인화성물질일 때에는 불꽃근방에서 이런 조작을 하여서는 안된다.

증류할 액체에 침전물이 혼입되여있으면 그것이 밑에 가라앉기때문에 가열할 때 침전물밑으로부터 갑작끓음현상이 일어나 침전물을 사방으로 흩어지게 한다. 이때 사방으로 흩어지는 침전물들이 가지관안에 들어갈수 있으므로 침전물을 려과하여 증류해야 한다.

증류기안에 넣는 액이 지나치게 많거나 적어도 안된다.

량이 많을 때에는 작은 플라스크로 여러번 나누어 증류하는것이 시간은 걸리나 손실량이 적다. 이와는 반대로 량이 적은데도 큰 플라스크로 증류하면 손실량이 많아지게 된다.

일반적으로 액이 증류플라스크둥근부분의 약 2/3를 차지할 정도의 크기의 플라스크를 사용하는것이 적당하다.

② 증류할 때 주의할 점

액체는 그 끓음점까지 가열되면 반드시 끓는다고는 말할수 없다. 특히 그 액체가 순수할수록, 플라스크의 벽이 평활할수록 그리고 끓음점이 낮은것일수록 액체는 그 끓음점이상 가열되여도 곧 끓지 않고 과열된 상태에 있게 된다.

액체가 어느 정도 과열되였을 때에 갑자기 기포가 생기면 그 압력이 매우 급격히 커져서 폭발적으로 끓게 된다. 이것을 갑작끓음이라고

부른다.

증류할 때에는 항상 갑작끓음현상이 없게 하여야 한다.

이를 위하여 용액이 그 끓음점까지 가열되면 동시에 끓을수 있게 기포를 내기 쉬운 작은 쪼각물질들을 미리 플라스크속에 넣어서 가열하는데 이때 그것이 핵으로 되여 기포가 생기고 순조롭게 끓게 된다.

③ 가열하는 방법

증류기를 가열할 때 물질의 끓음점이 높고 낮음에 따라 주의할 점은 서로 다르다.

끓음점이 상온이하인 물질. 증류플라스크를 실온에 놓아두던지 또는 수욕안에 넣고 매우 약하게 가열해주면 좋다.

끓음점이 80℃까지인 물질. 일반적으로 수욕 혹은 수증기욕우에 놓고 가열해야지 직접 가열해서는 절대로 안된다.

수욕속에 플라스크를 넣고 그 온도를 측정하면서 가열을 적당히 조절한다. 수증기욕은 불붙을 위험이 전혀 없다.

끓음점이 80℃이상인 물질. 이때에는 기름욕속에 플라스크를 넣고 욕의 온도를 물질의 끓음점보다도 약간 더 높게 보장하면 대부분의것들은 증류된다.

기름욕의 기름은 발화온도가 높은것이여야 한다. 그러나 보온하기 위하여 증류플라스크를 싼 천쪼각에 기름이 흡수되면 불이 당길수 있다. 기름욕의 온도가 200℃이하이면 여러시간 가열하여도 불이 일어날 우려가 전혀 없으므로 안심하고 가열하여도 된다.

또한 직접가열은 안전하지 못하므로 석면이 붙은 금망, 금속욕, 모래욕 등도 주의하여 사용해야 한다.

끓음점이 200℃이상인 물질. 끓음점이 200℃이상인 물질을 가열할때에는 증류플라스크를 모래욕이나 석면이 붙은 금망우에 놓고 처음에는 약한 불길로 가열하고 점차 불길을 크게 하면서 가열한다. 혹은 금망으로 플라스크의 둥근부분을 전부 싸고 약한 불길로 가열한다. 이때 증류의 마지막에 액이 적어지면 버너를 오른손에 쥐고 그 불꽃이 플라스크의 밑부분에 있는 금망의 모든 부분을 동일하게 가열하도록 불길의 위치를 끊임없이 움직이면서 가열해야 한다. 그렇지 않으면 플라스크가 깨여질

수 있다. 이 방법은 증류플라스크안의 물질의 증기는 어느정도 과열될 경향이 있지만 끓음점이 비교적 높은 물질을 증류하는 경우에는 적당한 방법이다.

④ 증기를 응축시키는 방법

증류하려는 물질의 끓음점이 높고 낮은데 따라 그 증기를 랭각시키는 방법도 다종다양하다.

여기서는 사용할 때 주의할 점만을 언급하였다.

증류할 액체의 량이 많을 때에는 그 조작초기에 랭각기의 작용이 정상이라고 해도 점차로 증류기의 각부분이 덥히여 결국 증기가 응축되지 않고 그릇밖으로 날아나게 된다. 공기랭각기를 사용하는 경우에는 특히 주의하여야 한다.

끓음점이 높은 많은 량의 물질을 공기랭각기로 증류할 때에는 직관랭각기를 사용한다. 이때 직관랭각기의 물공급관에 2/3정도 물을 넣은 다음 증류를 시작한다.

물공급관속의 물은 증기때문에 웃부분부터 점차 더워지게 되므로 그때 처음으로 물을 약간씩 통과시킨다. 그리하여 고온증기와 접촉하는 랭각기의 웃부분은 항상 약간 더워진 물로 랭각하도록 조절한다. 물을 빨리 통과시키면 찬물이 갑자기 뜨거운 관에 접촉되므로 관이 깨여질수 있다.

제9절. 랭 각

랭각대상으로는 고체, 액체, 기체가 될수 있으나 여기서는 증류할 때 증기를 랭각하는 방법에 대해서만 보기로 한다.

1) 랭각기

랭각기는 사용하는 목적에 따라 두 종류로 구분한다.

하나는 물질의 증기를 랭각시켜 액화된것을 얻는 증류용랭각기이고 다른 하나는 액화한것을 처음 용기에 되돌아보낼 때에 사용하는 환류용 랭각기이다. 이 두 종류의 랭각기는 많은 경우에 증류용으로나 환류용

으로 다 쓸수 있다.

증류용랭각기. 랭각기를 경사지게 설치하는 경우에는 직관랭각기(리비히랭각기)를 사용하며 수직으로 설치하는 경우에는 사관랭각기, 직관 또는 구관랭각기를 사용한다.

환류용랭각기. 보통 사관랭각기를 사용한다. 장치의 높이가 너무 높으면 구관랭각기를 사용하기도 한다.

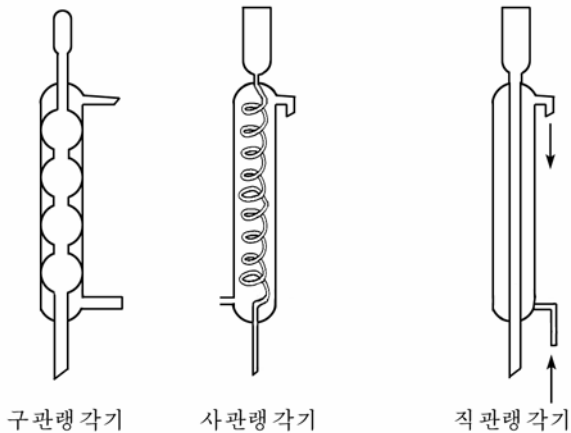



그림 2-3. 랭각기의 종류

2) 랭각하는 방법

① 상온이상부터 100℃까지의 사이에서 끓는 물질의 증기를 랭각시키는 경우

랭각능력이 큰 랭각기를 선택하여야 하며 랭각수를 빨리 통과시켜야 한다.

끓음점이 상온부근의것일 때에는 랭각수는 미리 얼음으로 랭각시킨것을 용기내에 통과시킨다.

높은 곳에 물통을 놓고 그 속에 얼음쪼각을 띄워놓은 물을 채운 다음 이것을 고무관으로 랭각기와 련결하고 나사집게로 흐르는 물의 량을 조절한다.

② 끓음점이 100℃이상되는 물질의 증기를 랭각시키는 경우

끓음점이 100~150℃인 물질의 증기를 랭각시킬 때에는 직관 또는 구관랭각기를 사용한다.

끓음점이 150~200℃인 물질의 증기를 랭각시킬 때에는 물을 사용할 필요는 없다. 증류하는 경우라면 직관랭각기의 내관, 환류랭각하는 경우에는 약간 굵은 유리관을 공기랭각기로 사용하면 된다. 물로 랭각해도 되지만 물과 증기의 온도차가 심하면 랭각수와 증기가 처음 접촉되는 랭각관이 파손될수 있다.

끓음점이 150℃이하인 액체와 끓음점이 150℃이상인 액체로 된 혼합물을 분별증류할 때 그 혼합물의 끓음점이 150℃이상 되였을 때에는 랭각기의 외관을 떼여버리는것이 힘들다면 물을 통과시키는것을 중지하고 그대로 증류를 계속하며 랭각관에 차있던 랭각수가 뜨거워지면 극히 서서히 물을 통과시킨다.

증류할 때에는 공기랭각기를 증류플라스크의 가지관에 련결하지 말고 매우 긴 가지관이 달린 증류플라스크를 선택하여 가지관을 그대로 랭각기대신 사용한다.

끓음점이 200℃이상되는 물질의 증기는 길이가 매우 긴 가지관이 달린 증류플라스크로도 충분하며 환류하는 경우라면 긴 유리관을 플라스크의 아구리에 꽂은 공기랭각기를 사용하거나 또는 약간 긴 목을 가진 플라스크를 선택하고 그 아구리에 깔때기를 꽂으면 된다.

제3장. 물질의 분리와 정제

위대한 령도자 **김정일**원수님께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《실험실습과 련습은 배운 리론을 더욱 구체화하고 공고히 하며 응용능력과 실천능력을 키워주는 중요한 교수형태들입니다.》(《**김정일**선집 제8권, 111폐지)

화학은 물질의 화학적성질인 반응성이나 그 성질을 나타내는 구조에 대하여 연구하는 학문이다. 이렇게 말하면 화학이 힘든 학문과 같이 느껴질지는 모르는데 실지로 화학은 우리들이 늘 사용하고있는 생활용품과 직접 관련되는 학문이다.

최근에 감기약, 건위약 등 많은 고려약들이 생산되고있다.

고려감기약은 칡뿌리를 다려서 만든 내복약이다.

추출액속에는 다양한 성분들이 포함되여있는데 이 성분물질들가운데서 감기에 효력을 나타내는 성분은 무엇인가.

감기에 효력을 나타내는 물질을 분리하여 그 구조를 해명하고 합성한다면 칡뿌리달임액과 같이 효과가 있는 감기약을 만들어 낼수 있을것이다.

우리 주위를 화학적인 안목으로 다시 보면 화학이 어떻게 생활과 밀접히 련관되여있는가를 알게 될것이다.

유효성분의 구조와 성질을 명백히 밝히기 위하여서는 우선 칡뿌리달임액과 같은 혼합물로부터 될수 있는 한 순수한 물질을 분리하지 않으면 안된다.

혼합물 그대로를 가지고는 어느 성분이 유효성분인가를 밝힐수 없으며 또한 각종 분석기구를 사용한다하더라도 어느 물질의 유효성분에서 유래된것인가를 알수 없으므로 그 성분의 구조를 결정할수 없다.

분리와 정제는 물질을 취급하는 화학실험조작가운데서 가장 기본적이며 중요한 조작이다. 여기서는 대표적인 몇가지 분리정제방법에 대하여 고찰한다.

제1절. 얇은층크로마토그라프에 의한 분리

얇은층크로마토그라프 (TLC)에 의한 분리방법은 어떤 종류의 성분물질이 포함되여있는가를 손쉽게 측정하는 방법이다.

얇은층크로마토그라프를 쓰면 얻어진 물질이 순수한 물질인가 아닌가를 정성적으로 조사할수 있다.

※ 얇은층크로마토그라프는 영어로 Thin-Layer Chromatography(TLC)

실험 1. 얇은층크로마토그라프에 의한 색소분리

① 모세관(내경 약 0.2mm)으로 색소혼합액(약 0.1%표준물질《감색》과 《푸른색》을 녹인 벤졸액)을 1~2cm높이로 취하고 TLC판우에 점을 찍는다.(그림 3-1)

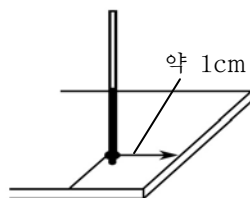
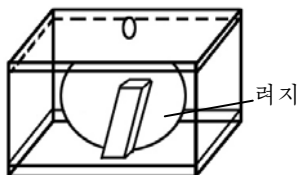
약 1cm

그림 3-1

② 헥산과 초산에틸혼합용액(체적비 5:1)을 넣은 전개조에 TLC판을 넣고 전개한다.(그림 3-2)

③ 용매가 TLC판 우로부터 약 5mm높이까지 올라가면 판을 꺼내는 뾰족한것(례하면 연필)으로 용매가 올라간 앞부분을 가볍게 덧써서 판에 표시한다.

그림 3-2

④ 결과를 간단히 기록하고 원점(시료를 찍은 점)으로 부터 용매가 올라간 부분까지의 거리 a및 성분색소의 점중심까지의 거리 b를 재고 R_f값을 구한다.(R_f=b/a)

모세관을 TLC판에 가볍게 대면 모세관현상에 의해 용액이 판우로 이동한다.

TLC판에서 점의 직경이 5mm이상 되지 않도록 주의하면서 제때에 모세관을 떼야 한다.

또한 TLC판을 전개조에 넣을 때 점찍은 부분이 전개용매속에 닿으면 용매속에 시료가 풀려나오므로 TLC판의 아래로부터 1cm 위치에

점을 찍는다.

TLC판은 유리판우에 석고를 놓고 그우에 실리카겔 혹은 활성알루미나(이것을 고정상이라고 한다.)를 도포하여 만든다.

석고는 실리카겔이나 알루미나를 유리겉면으로부터 벗겨지지 않도록 하기 위하여 넣는다.

그러면 어떻게 TLC에 의해 물질이 분리되는가를 보자.

실험해보면 용매가 올라가는데 따라서 감색의 점과 푸른색의 점으로 분리되는것이 관측될것이다.

이것은 성분물질들의 실리카겔겉면에로의 흡착능력(흡착력)의 차이로 설명할수 있다.

TLC판우에 실리카겔에 위치를 확증한 혼합물의 성분가운데서 실리카겔에 매우 강하게 흡착하는 성분물질(B)은 전개용매(이동상)가 올라간다해도 거의 용매속에 풀리지 않고 본래위치(원점)에 남는다.

한편 실리카겔에 매우 약하게 흡착하는 성분물질(A)은 전개용매가 올라가면 거의 용매속으로 풀려나가고 용매의 상승과 함께 올라간다.(그림 3-3)

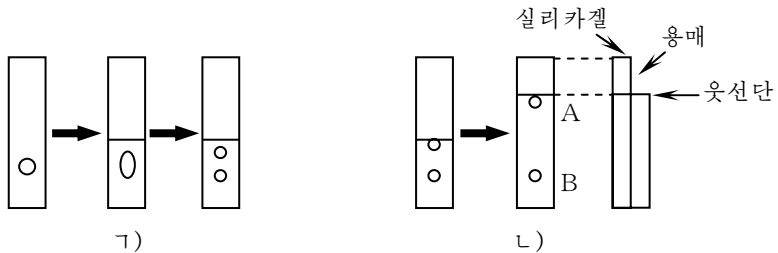



그림 3-3. 성분물질들의 분리모형

일반적으로 두개의 성분으로 이루어진 계에서는 그림 3-3과 같이 용질과 용매의 상승부분으로 분리되는것이 아니라 두개의 점이 원점과 용매의 상승부분사이에 생긴다.

어째서 매개 성분이 원 혹은 타원상의 점으로서 분리되는가를 고찰해보면 물질분리의 원리를 리해할수 있다.

오늘날 콤퓨터의 발전과 보급에 따라 계산결과를 가지고 화학적인 현상이나 화합물의 성질을 설명하거나 예측하는 《계산화학》이라는 새로운 화학분야가 발전하고있다.

계산에 기초하여 실험결과를 예측하는 실험을 모의실험이라고 부른다.

왜 TLC에서 분리점이 생기는가를 설명하기 위하여 모의수법을 써보자.

모의실험을 진행하는 경우에는 우선 계산을 하기 위한 모형을 생각하지 않으면 안된다.

모형이라고 해도 어려운 모형을 생각할 필요는 없다.

그림 3-3을 묘사할 때 실리카겔에 흡착된 물질 A는 전부 풀리여 용매가 올라가면 그에 따라 함께 올라가는데 새로운 실리카겔걸면에는 흡착되지 않는다고 생각한다.

이것이 하나의 모형이다.

이 모형을 전부가 풀리는것이 아니라 일부가 실리카겔걸면으로 부터 풀려나와 용매가 올라가서 새로운 실리카겔걸면에 접촉할 때 그 걸면에 풀린 일부가 재흡착한다는 모형으로 고쳤을뿐이다.

실지 TLC에서는 이 용해-재흡착과정이 련속적으로 반복되고있다.

련속적인 과정을 계산하는것은 대단히 어려운 일이므로 련속적인 과정을 불련속적인 과정으로 바꾸어 계산한다.

TLC판의 실리카겔걸면을 우선 3개의 단으로 바꾸고 용매도 련속적으로 오라가는것이 아니라 한계단씩 불련속적으로 올라간다고 하는 모형을 생각하여 계산해보자.

련속적인것을 불련속적인것으로 고찰한다고 해도 단수를 늘이면 련속적인 상태에 가까운 모형으로 된다.

이와 같은 고찰법은 수학에서의 적분과 같은것이다.

용해와 재흡착과정에서는 실리카겔에 흡착하고있는 물질의 량과 용매에 풀린 물질의 량은 대개 평형에 도달했다고 보며 분배에는 후로인트리피의 흡착식 $x=ac^{1/b}$(x는 고정층에 흡착된 물질의 량, c는 용매의 농도, a 및 b는 상수)이 적용된다.

여기서는 계산을 간단히 하기 위하여 평형에 도달했을 때 어떤 단의 실리카겔에 흡착한 물질의 분자수 n과 그 단에 존재하는 용매에 풀린 물질의 분자수 m사이에 간단한 비례관계가 성립한다고 가정하여 보자.

우선 분배비 $n:m$을 1:2라고 생각하고 모의실험을 해보자.

분배비가 1:2라는것은 걸면에 물질을 흡착한 그림 3-4(1)후 전개하여 용매가 올라가면 (2)흡착된 물질의 2/3가 용매속에 풀리고 1/3

이 실리카겔에 남은것(3)을 의미한다.

실지는 용매가 올라감에 따라 시료의 일부가 련속적으로 풀리고 재흡착되는데 이것을 모형에서는 불련속적인 과정으로 보며 우선 용매만을 올려보내고 첫번째단까지 올라가는것이 끝날 때까지는 분배가 일어나지 않는다고 생각한다.

(3)에서 분배가 끝난다면 용매를 한단 더 올려보낸다.

용매가 올라가고있는 동안에는 분배를 고찰하지 않으므로 용매가 실리카겔의 두번째단까지 올라간 상태 그림 3-4(4)에서 매 단에 있는 분자를 1:2로 분배한다.(5) 이때 (2)와는 달리 두번째단의 용매에 용해여있는 분자의 1/3만이 실리카겔걸면으로 이동한다

이것이 재흡착과정이다. 계속하여 용매를 한단 더 올려보내면 (6)으로 된다.

(6)의 매 단의 실리카겔걸면 및 용매속의 분자를 분배비 1:2에 따라서 분배한것이 그림 3-4(7)의 상태이다. 이 상태에서 단수를 3으로 할 때에는 용매가 실리카겔의 웃단까지 올라가는것으로 되기때문에 전개가 끝난다.

전개조로 부터 TLC판을 꺼내서 말리우면 용매가 증발하고 매 단의 용매속에 풀려있는 분자는 해당한 단의 실리카겔걸면에 흡착된것으로 된다.

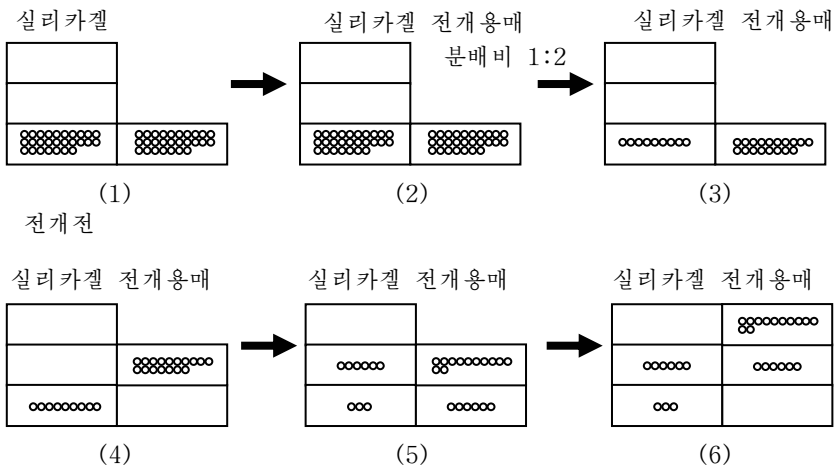
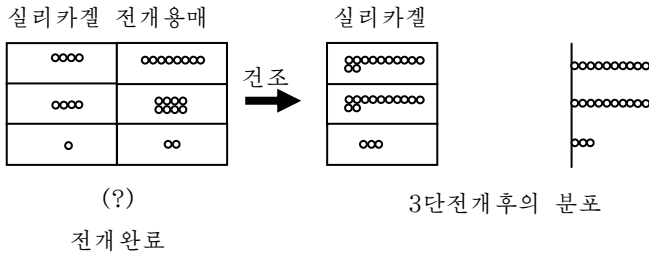



그림 3-4. 단계별 분배상태

단수가 3일 때에는 아직 깨끗한 분포는 아니지만 단수를 100으로 늘여서 계산을 진행하면 깨끗한 분포로 된다. 그림 3-5는 분배비 1:2와 2:1로 계산한 모의실험결과이다.

그림 3-4의 과정을 다르게 고찰해보자.

실리카겔우의 물질과 용매속의 물질을 각각 분배하여 계산할 때에는 용매를 올려보낸 후 우선 매 단의 실리카겔우의 물질과 용매속의 물질의 합을 얻고 다음에 이것을 분배하여도 같다는것을 알수 있을것이다.

이 방법으로 10단으로 첫 모형을 고찰하고 모의실험을 진행해 보자.

실험 2. TLC의 모의실험

① 처음에 고정상(실리카겔)에 흡착시킨 시료량을 1로 하고 고정상과 이동상(전개용매)에로의 분배비를 2:8로 한다.

② 그림 3-4와 같이 이동상을 순차적으로 상승시키고 그때마다 매단에서 시료를 고정상과 이동상에 분배한다. 수값을 소수점 4자리까지 구하여라.

수값은 역시 분포비률을 나타낸다.

③ 10단까지의 분배가 끝나면 매단의 고정상과 이동상에 있는 수값의 합을 구하고(TLC의 전개가 끝나고 TLC판을 건조한것에 해당한다) 매단의 시료의 분포비률을 선그라프로 표시한다.

④ 고정상과 이동상에로의 분배비률 7:3으로 하여 우와 같은 조작을 진행하고 그 결과를 선그라프로 표시한다.

그러면 TLC에 의해 물질을 분리하고 순수한물질을 얻을수 있는가.

TLC는 보통 혼합성분의 정성분석에 리용되는데 고정상을 두텁게 하면 목적하는 성분물질도 갈라낼수 있다.(이 경우를 PLC라고 부른다.)

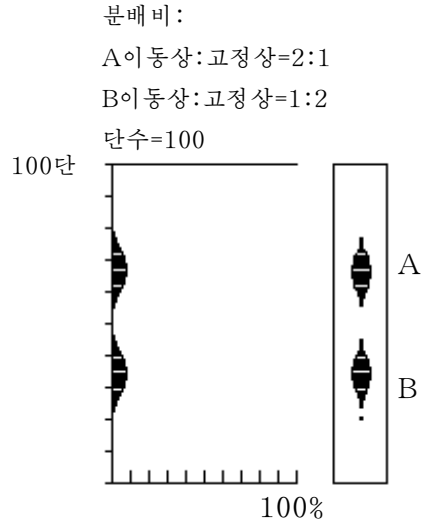
전개후 필요한 성분이 존재하는 부분의 실리카겔을 깎아내여 떨구고 용매를 넣은 비커속에 넣어 잘 교반하여 풀고 려과하면 그 성분을 얻을수 있다. 그러나 PLC판에서는 유리판우에 도포한 실리카겔층을 두껍게 하면 벗겨지기 쉬우므로 너무 두껍게 하지 말며 폭이 5×20cm정도의 유리판을 써서 만든 PLC판에서는 기껏해서 0.5g정도의 량이 시료속에 포함되므로 성분이 분리되지 않는다.

그림 3-5. 모의실험결과

이로부터 시료량이 많은 경우에는 유리관속에 실리카겔을 넣은 얇은층크로마토그라프가 쓰이고 있다.(그림 3-6)

용매를 유리관의 웃부분에 넣어 떨구어 전개하는 원리는 TLC와 같다.

그림 3-6. PLC와 얇은층크로마토그라프

얇은층크로마토그라프는 일반적으로 실험시간이 오래므로 보통 얇은층크로마토그라프에서 쓰는 실리카겔보다도 알갱이가 작은 실리카겔을 쓰고 압력을 주어 용매가 빨리 떨어지게 한 순간크로마토그라프도 고안되고있다.

제2절. 재결정화

재결정화란 보통 고체물질을 용매에 넣고 가열하여 풀고 이어서 이 용매를 랭각시켜 고체물질의 용해도(제4장 참고)를 떨구어 다시 결정으로 석출시키는 조작을 말한다.

이때 미량으로 포함되여있는 불순물은 용매속에 남아있으므로 고체시료를 정제할수 있다.

재결정화의 원리도 간단한 모형을 고찰하면 TLC이나 증류와 같이 련속적인 과정을 불련속적인 과정으로 바꾸어 설명할수 있다

그림 3-7에서는 재결정화과정을 모형적으로 보여주었다.

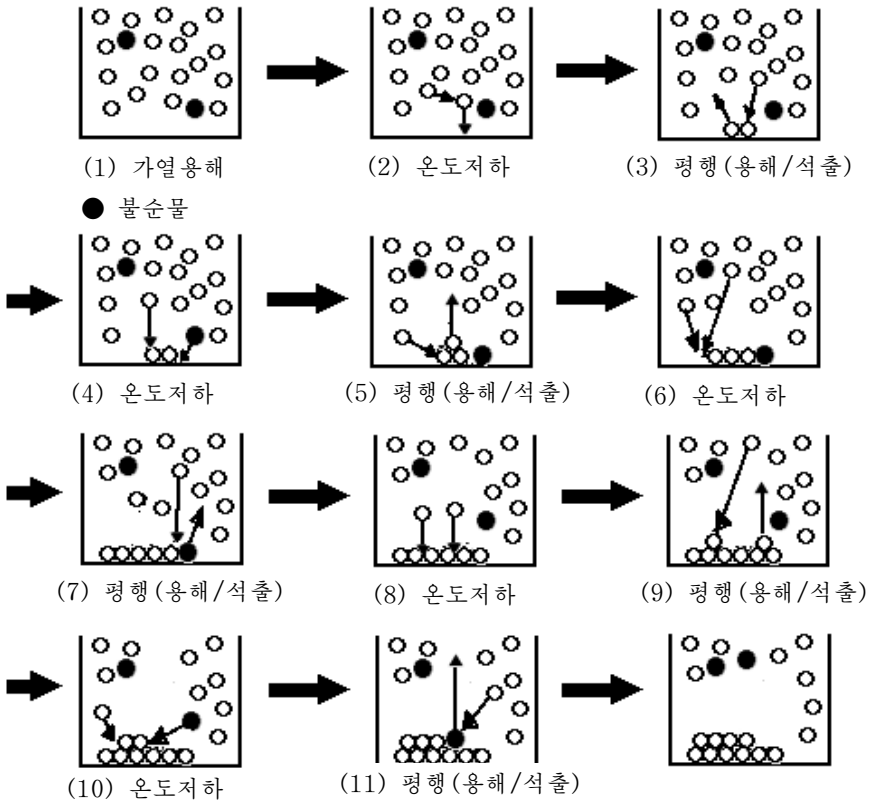



그림 3-7. 재결정화의 모형

그림 3-7과 같이 재결정화도 불련속적인 과정의 반복으로 생각할수 있으며 TLC의 용매상승이 재결정화에서는 용액온도의 저하에 해당된다.

불순물은 미량으로밖에 포함되여있지 않으므로 결정화될 확률은 낮고 또한 결정화된다 하여도 동시에 용해도 진행되기때문에 결정안에 불순물이 들어갈 확률은 매우 적다.

때문에 재결정화로 순수한 물질을 얻을수 있다.

그러나 급격히 랭각시키는 경우에는 용해에 비해 결정화의 속도가 휠씬 커지게 되므로 불순물이 섞이기 쉽다.

그러므로 천천히 결정화시켜야 용해-결정화가 반복되므로 알갱이의 배렬이 깨끗하게 되고 큰 결정이 생긴다.

재결정법으로는 우에서 서술한바와 같이 온도에 의한 용해도의 차를 리용하는 방법이 많이 쓰이는데 고체물질을 용매에 잘 푼 다음 거기에 그 물질이 풀리지 않는 용매를 넣어서 용해도를 떨구는 방법도 쓰고있다.

고체를 잘 용해되는 용매에 용해시키고 용해시키기 힘든 용매를 써서 두층으로 하여 방치하고 확산에 의하여 용매를 천천히 혼합시켜 용해도를 떨구면 비교적 큰 결정을 간단히 얻을수 있다.

그러면 다음의 실험으로 재결정화하여 소금결정을 만들어보자.

실험 3. 액체확산법에 의한 소금의 재결정화

① 시험관에 에타놀 10mL를 넣고 바로 세운다.

② 그림과 같이 끝을 가늘게 뽑은 유리관을 시험관안에 넣는다.

③ 소금포화용액 1mL를 스포이드로 조심히 유리관을 통하여 시험관바닥에 에타놀과 혼합되지 않게 두층으로 되도록 넣는다.

유리관웃부분의 소금용액이 끊기면서 들어가면 공기가 함께 들어가기때문에 기포가 생기고 깨끗한 층을 만들수 없다. 그러므로 주의해서 소금용액을 넣는다.

④ 소금용액을 하루밤 가만히 놓아둔다.

시험관을 움직이는 경우에는 층이 흩어지지 않게 주의한다.

⑤ 석출된 결정을 려과하여 모으고 관찰한다.

계산화학의 수법을 리용한 모의실험에서는 우에서 서술한바와 같이 련속적인 과정을 불련속적인 과정의 반복으로 바꾸어 모형을 고찰하고 계산할수 있다.

이 고찰법은 화학을 깊이 고찰하기 위한 필수적인 고찰방법이므로 다음 장에서도 이 고찰법을 응용한다.

모의실험에서 흡착물질들사이의 호상작용은 고찰하지 않았다. 이것은 물질알개이가 리상기체와 같은 작용을 한다고 가정하였기때문이다.

화학적현상을 고찰할 때에는 알갱이들사이의 호상작용을 고찰하는 것과 같은 특별한 경우를 제외하고는 이와 같은 가정을 하여 고찰하는 것이 일반적이다.

제4장. 침전과 용해

지구의 2/3는 물로 덮여있다.

지구상에 있는 물가운데서 97.5%(1.4×10^{18}t)는 바다물이고 나머지는 민물, 극지방이나 높은 산의 얼음으로 되여있다.

음료수로 리용할수 있는 지하수, 호수, 강물은 약 0.3%밖에 안된다.

물은 생물체에 있어서 없어서는 안될 물질이다.

생물체의 60~ 90%가 물이다. 사람의 경우에 어린이는 몸질량의 80%, 어른은 55%(녀성)~60%(남성)가 물이다.

물은 여러가지 무기화합물이나 유기화합물을 녹일수 있다.

물은 생명의 기본인 많은 화합물들을 용해시키는 용매로서 존재하기때문에 지구상에 많은 생명체가 발생할수 있는것이다.

생물의 세포체액인 혈장, 림파액, 양수 등의 조성은 바다물의 조성에 가깝다. 이것은 최초의 생명이 바다물에서 생겼다는것을 의미한다.

그러면 물은 어떻게 많은 물질을 용해시킬수 있는가. 왜 NaCl은 물에 잘 용해되는데 비슷한 화학식을 가진 AgCl은 용해되지 않는가.

이 장에서는 우의 문제들을 고찰하고 새롭게 물에 대한 용해도와 그것을 리용한 물질의 분리에 대하여 고찰해보자.

제1절. 물에 의한 이온화 [수화(용매화)]

소금 NaCl은 물에 잘 풀리는 전해질이다.(물 100g에 대하여 20℃에서 26.9g풀린다.)

물에 용해된 소금은 Na^{+}와 Cl^{-}로 해리되여있다..

그러나 물속의 이온둘레에는 용매인 물이 있어 Na^{+}와 Cl^{-}와 같은 단순한 형태로 존재하지 않는다.

그러면 물속에서 이온은 어떤 형태로 존재하는가.

실험 1. 소금(NaCl)의 용해도

① 소금을 10g정도 비커에 넣고 정확한 질량을 잰다.

② 증류수 20g을 50mL들이 비커에 넣고 이것을 수욕에서 랭각하여 물온도를 일정하게 한다.

③ 우선 질량을 잰 소금을 약숟가락으로 조금씩 넣는다.

④ 저어주어도 소금이 더 용해되지 않으면 넣는것을 중지한다.

⑤ 이때 용액의 온도를 측정한다. 남은 소금의 질량을 재여 용해된 소금의 질량(염화나트리움의 용해도)을 구한다.

⑥ 다음 수욕을 따끈하게 가열하여 물온도를 약 80℃로 하고 우와 꼭같이 용해도를 구한다.

⑦ 이 비커를 수욕에 넣고 소금의 결정을 석출시킨다.

려과하고 얻은 결정을 려지에 끼워 건조시킨 후 결정의 질량을 잰다.

예상값과 실지 석출량을 계산한다.

그림 4-1에 물속에서 존재하는 이온의 모양을 보여주었다.

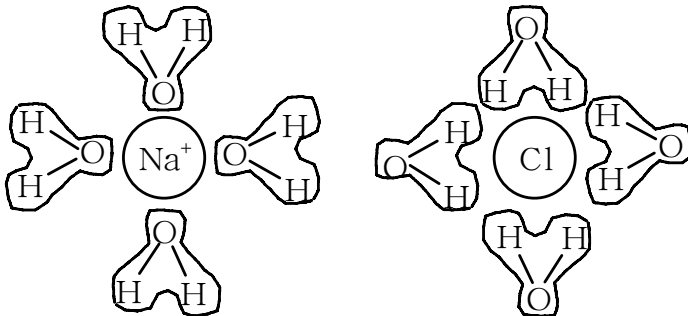



그림 4-1. 물속에서의 이온

물분자가 이온을 둘러싼것을 수화(일반적으로 용매화)라고 부른다.

물분자로 둘러싸인 이온을 수화이온이라고 부른다.

그러면 물분자는 어떻게 이온을 둘러싸는가. 물에 용해되면 어떻게 이와 같은 수화이온으로 되는가.

《류사한 것은 류사한것을 녹인다: Like dissolves like》라는 말이 있지만 그것은 그렇다하여 Na^+와 Cl^-가 물과 매우 류사하다고는 말하지 않는다.

그러나 물분자로 둘러싸인 수화이온은 어떤가.

Na^+와 Cl^-를 보자.

약간 물불자와 류사한 형으로 되여있다는데 주의를 돌려야 한다.

이와 같이 물에 어떤 물질이 풀려있는 경우에는 용질알갱이들이 물분자로 둘러싸이고 결과 물과 류사한 성질을 가지므로 물속에서 자유로이 존재할수 있게 된다. 물속에서 자유롭게 존재할수 없다면 알갱이들끼리 들어붙어 물과 분리되고 만다.

그러면 물은 왜 이온을 둘러싸는가.

물분자는 그림 4-2(ㄱ)와 같은 모양으로 하고있다.

O-H결합의 전자구름은 산소원자의 전기음성도가 수소원자의 전기음성도보다 크기때문에 산소원자쪽으로 끌리우고있다.(산소원자와 수소원자의 전기음성도차 : 3.5-2.1=1.4) 그러므로 물분자 전체로서는 전기적으로 중성이지만 그림 4-2(ㄴ)와 같이 분자속에 부분적인 전하편차가 생긴다. 이것을 분극이라고 부른다.

δ란 부분적이라는 의미로서 전자가 완전히 이동하는것이 아니라 쏠리고있을 뿐이라는것을 나타낸다.

수소의 전자구름이 산소쪽에 완전히 치우쳐있다면 H^+와 OH^-로 된다.

ㄱ) ㄴ) ㄷ)

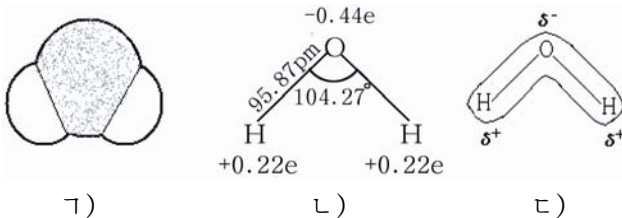



그림 4-2. 물분자

그림 4-3. 이온으로 흩어지는 과정

분자속에 δ^-와 δ^+의 부분이 존재하기때문에 양이온과는 δ^-의 산소, 음이온과는 δ^+의 수소사이에 정전기적끌힘이 작용한다.

이 끌힘에 의해 물분자들은 개개의 이온을 둘러싸 수화이온을 만든다.

+와 –는 전하를 가진 알갱이들사이에는 정전기적끌힘이 작용하므로 양이온 A^+와 음이온 X^-는 흩어져있는 기체와 같은 상태로는 보통 존재하지 않는다.

이 이온들이 존재할수 있는것은 이온성결정으로 되여있든가 또는 물속에서 용해되여있는 경우이다.

물속에서는 왜 이온으로서 존재할수 있는가 즉 이온성물질이 물에 왜 풀리는가를 다시금 고찰해보자.

이온성물질이 물에 풀리는 과정을 두단계로 나누어 고찰하면 리해하기 쉽다.

첫번째과정은 이온성결정의 이온을 한개씩 흩어지게 하는 과정이다.(그림 4-3)

물속에서는 양이온과 음이온이 들어붙지 않으므로 우선 처음에 결정을 한개씩 이온으로 갈라놓는다고 생각할 뿐이다.

붙어있는것을 분리하여 따로따로 있게 하기 위해서는 힘(에네르기)이 필요하다.

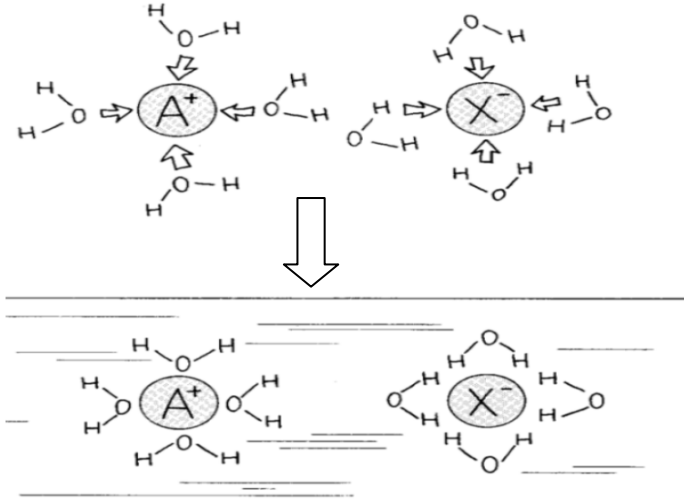



그림 4-4. 수화이온의 형성

두번째과정은 기체와 같이 흩어진 상태로 된 이온을 수화이온으로서 물속에서 자유롭게 존재할수 있게 하는 과정이다.(그림 4-4)

이 두 과정을 거쳐 이온은 수화이온으로 되여 물에 풀린다고 생각하면 된다.

제2절. 용해도상수

앞절에서 이온성결정의 용해과정에 대하여 설명하였다.

그러면 소금과 같은 화학식을 가진 이온성결정은 모두 물에 용해되는가.

NaCl과 AgCl을 실례들어 관찰해보자.

실험 2. 염화물의 침전형성반응

① 0.05mol/L의 $NaNO_3$과 $AgNO_3$의 수용액을 각각 0.3mL씩 취하여 개개의 시험관에 넣는다.

② 이 개개의 시험관에 0.05moL/L의 묽은 염산을 조금씩 넣어서 침전물이 생기는가를 살펴본다.

실험 2에서 생긴 흰색침전물은 AgCl이다.

$NaNO_3$수용액에 염산을 넣어도 NaCl의 침전물은 생기지 않는다.

이것은 AgCl은 물에 용해되기 힘들며 NaCl은 물에 쉽게 용해되기 때문이다.

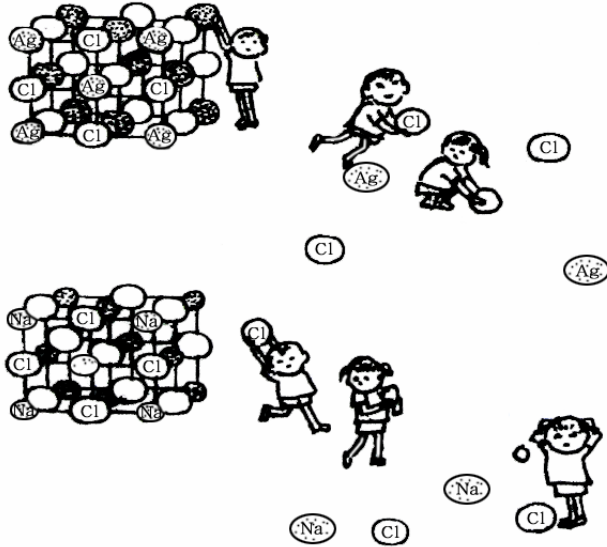



그림 4-5. NaCl과 AgCl의 흩어져있는 모양

왜 이온성물질 AX가운데서 어떤것은 물에 잘 용해되고 어떤것은 용해되지 않는가?

어떤 이온성물질에서는 앞에서 서술한바와 같이 두개의 과정을 거쳐 물에 용해된다.

첫번째과정은 이온성결정속의 개개의 이온을 한개씩 흩어지게 하는 과정이다. 이와 같은 과정은 NaCl이나 AgCl에서도 마찬가지이다.

그후 흩어진 Na^+, Cl^-와 Ag^+, Cl^-에서 일어나는 다음의 두개과정이 존재한다.

하나는 수화이온을 만들고 물에 용해되는 과정이며 다른 하나는 본래의 이온성결정으로 돌아오는 과정이다.(그림 4-6)

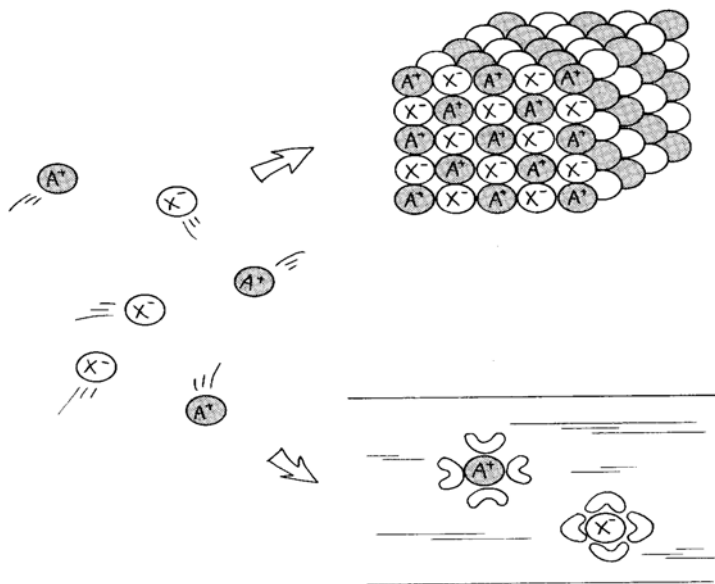



그림 4-6. 수화이온을 만드는 과정과 결정으로 돌아오는 과정

어느 과정을 선택하는가는 기체와 같이 흩어진 상태로 존재하는 이온들이 각각의 과정을 거칠 때에 방출하는 에네르기를 보면 알수 있다.

흩어져있는 이온의 기체와 같은 물질(여기서는 Na^+, Cl^-와 Ag^+, Cl^-)이 결정상태로 돌아올 때에 방출하는 에네르기와 수화이온으로 될 때에 방출하는 에네르기가 어느 쪽이 큰가에 따라 이온조가 어느 과정을 선택하는가가 결정된다.

수화이온을 이온과 물분자로 가르기 위하여서는 에네르기가 필요하고 반대로 수화가 일어나면 그만 한 에네르기가 방출된다.

자연계에서 일어나는 모든 변화(반응)들은 에네르기를 항상 작게 하는 방향(보다 안전하게 하는 방향)에서 일어난다.

NaCl은 수화이온을 만드는 쪽이 결정으로 돌아오는것보다 많은 에네르기를 방출하므로 용해되는 과정이 일어나지만 AgCl은 결정으로 돌아오는 쪽이 보다 많은 에네르기를 방출하므로 수화이온으로 되지 않고 결정으로 돌아오고마는것이다.(그림 4-7)

물에 용해되지 않는다고 해도 흩어진 이온들 모두가 결정으로 돌아오는것은 아니며 수화이온으로 되는 과정도 조금 일어난다.

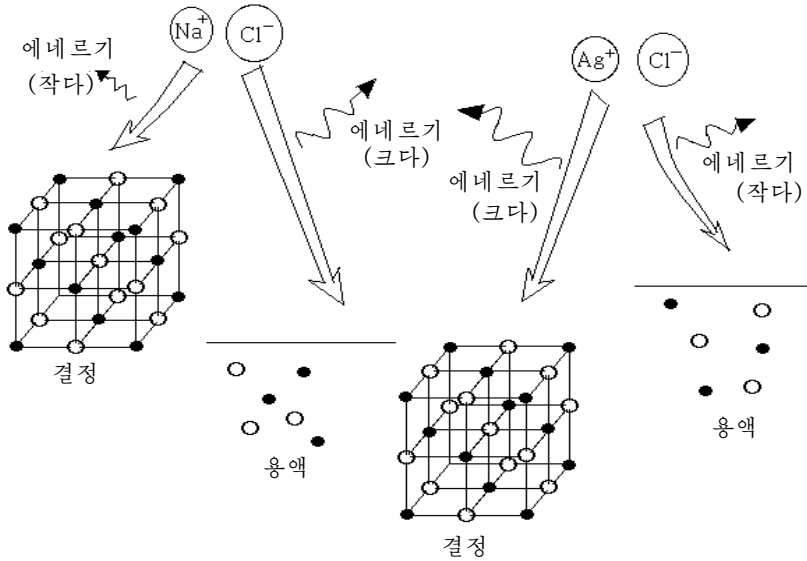



그림 4-7. NaCl과 AgCl의 변화의 차이

물에 용해되기 힘든 전해질이 어느 정도가 수화이온으로서 존재할수 있는가를 나타내는것이 용해도상수 K_S라고 말할수 있다.

이 값은 온도와 압력이 일정할 때 상수로 된다.

염화은은 물에 용해되기 힘든 (난용성) 대표적인 염이다.

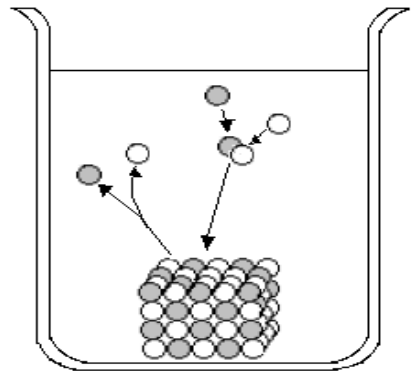
이것을 실례로서 용해도상수를 고찰해보자.

그림 4-8. 석출과 용해

염화은은 포화수용액으로부터 결정염화은이 석출할 때에도 결정으로부터 일부 염화은이 용해되여 나온다.(그림 4-8)

결정걸면으로부터 용해되여 나온 염화은의 량은 결정이 수용액과 접하는 걸면적 S에 비례한다.

또한 이 량은 수용액의 온도에 따라서도 변한다.

단위시간동안에 단위체적(례하면 1초사이에 1L의 용액)속에 용해되

여 나온 량(몰)을 ν_1라고 하면 ν_1는 용해속도를 나타내는것으로 된다.

온도가 일정하면 ν_1는 겉면적 S에 비례하기때문에 다음과 같이 쓸수 있다.

$$v_1 = k_1 \cdot s \text{ (} k_1 \text{은 상수)}$$

한편 수용액에서 결정겉면쪽으로 염화은이 석출하는 속도 ν_2은 결정의 겉면적 S와 수용액속의 이온의 몰농도 $[Ag^+]$와 $[Cl^-]$에 비례한다.

$$v_2 = k_2 \cdot s \cdot [Ag^+] \cdot [Cl^-] \text{ (} k_2 \text{ 은 상수)}$$

겉보기에 결정의 석출도 용해도 일어나지 않는다고 하여도 미시적으로 고찰하면 석출과 용해가 일어난다. 이때 석출속도와 용해속도가 같으므로 용해평형이 이루어졌다고 한다.

평형상태에서는 $\nu_1 = \nu_2$ 이다.

여기로부터 $\left[Ag^+\right] \cdot \left[Cl^-\right] = \frac{k_1 \cdot s}{k_2 \cdot s} = \frac{k_1}{k_2} = Ks$ (일정)

이 식에서 보는바와 같이 k_{Sp}는 결정의 겉면적에 무관계하며 온도와 압력이 일정하면 항상 일정한 값을 나타내는 척도이며 온도가 일정한 조건하에서 어느 정도 AgCl이 용해되는가를 알수 있게 한다.

일반적으로 Am, Bn형의 이온성물질에서는 다음의 관계가 성립한다.

$$[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n = K_S$$

A^{n+}와 B^{m-}가 용액속에서 존재할 때 그것들의 몰농도와 용해도상수 K_S로부터 침전물이 생기는가 안생기는가를 알수 있다.

(1) $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n > K_S$: 침전물이 생기고 용액속의 A^{n+}, B^{m-}은 감소한다.

(2) $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n = K_S$: 침전물형성반응이 겉보기상 일어나지 않는 상태

침전모양은 겉보기상 변하지 않는다.

(3) $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n < K_S$: 침전형성반응이 일어나지 않는 상태

(1)~(3)으로부터 포화용액의 A^{n+} 또는 B^{m-} 의 한쪽을 완전히 침전시키기 위해서는 다른 쪽의 이온을 과잉으로 넣어야 한다는것을 알수 있다.

례하면 염화은의 용해도상수는 1.2×10^{-10}이므로 용액속의 Cl^-의 몰농도가 0.01mol/L로 되도록 Cl^-을 포함한 용액을 넣으면 용액속에 용해되여있는 Ag^+의 농도는

$$[Ag^+] = \frac{1.2\times10^{-10}}{0.01} = 1.2\times10^{-8}(mol/L)$$

이다.

때문에 Ag^+을 포함한 용액에 Cl^-을 포함한 용액을 넣으면 염화은의 흰색침전물이 생긴다.

이 반응은 매우 예민한 반응이므로 Cl^-를 검출하는 반응으로 리용되고있다.

일반적으로 어떤 물질의 몰농도가 10^{-5}mol/L보다 작아지는 경우 그 물질은 용액에 거의 용해되지 않는다.

용해도상수를 리용하면 무기침전물생성반응을 깊이있게 리해할수 있다.

염화물이온 Cl^-와 크롬산이온 CrO_4^{2-}이 함께 존재하는 용액에 질산은용액을 넣을 때 난용성의 은화합물인 염화은과 크롬산은의 어느것이 먼저 침전되는가를 살펴보자.

실험 3. 염화은과 크롬산은

① 0.02mol/L의 염화칼리움수용액 2mL를 시험관에 취하고 거기에 0.02mol/L의 질산은수용액 2mL를 방울방울 떨구어 변화를 관찰한다.

② 0.02mol/L 크롬산칼리움수용액 2mL를 시험관에 취하고 거기에 0.02mol/L 질산은수용액 2mL를 방울방울 떨구어 변화를 관찰한다.

③ 0.02mol/L의 염화칼리움수용액과 크롬산칼리움수용액을 각각 2mL씩 취하고 시험관에서 섞는다. 여기에 0.02mol/L의 질산은수용액 6mL를 방울방울 떨구면서 변화를 관찰한다.

염화칼리움수용액에 질산은수용액을 넣으면 흰색의 침전물이 생긴다.

마찬가지로 크롬산칼리움수용액에 질산은수용액을 넣으면 붉은색의 크롬산은침전물이 생긴다.

염화칼리움수용액과 크롬산칼리움수용액을 혼합한 용액에 질산은수용액을 방울방울 떨구어넣으면 곧 붉은밤색으로 흐려지는데 이것을 흔들어 혼합하면 흰색으로 된다.

질산은수용액의 량을 증가시키면 붉은색침전물이 생긴다.

이와 같은 결과로부터 Cl^-와 CrO_4^{2-}이 같이 있는 경우에는 염화은이 먼저 침전물로 가라앉고 다음에 크롬산은이 침전된다는것을 알수 있다.

용해도상수를 보면 염화은이 1.2×10^{-10}, 크롬산은이 5.4×10^{-13}이다.

용해도상수의 크기로부터 고찰하면 크롬산은의 용해도상수가 작으

므로 먼저 침전되리라고 생각되는데 사실 그렇지 않은것은 왜 그런가.

0.02mol/L의 염화칼리움수용액과 크롬산칼리움수용액을 2mL씩 혼합한 용액에서는 $[Cl^-]=[CrO_4^{2-}]=0.01mol/L$이기때문에 AgCl이 침전되는데 필요한 Ag^+의 농도는

$$[Ag^+]=\frac{1.2\times10^{-10}}{0.01}=1.2\times10^{-8}\ (mol/L)$$

이상이며 또한 Ag_2CrO_4이 침전되는데 필요한 Ag^+의 농도는

$$[Ag^+]^2=\frac{5.4\times10^{-13}}{0.01}=5.4\times10^{-11}\ (mol/L)$$

이므로 $[Ag^+]=7.3\times10^{-13}mol/L$ 이상 필요로 하게 된다.

이와 같이 용해도상수를 고찰하면 염화은의 침전형성에 필요한 은이온의 농도 $[Ag^+]$가 크롬산은의 그것보다 작으므로 먼저 염화은이 침전된다는다는것을 리해할수 있다.(그림 4-9)

또한 크롬산은이 침전되기 시작 할때의 은이온의 농도는 7.3×10^{-8}이므로 그때의 염화물이온의 농도는

$[Cl^-]=\frac{Ks\cdot[AgCl]}{[Ag^+]}=\frac{1.2\times10^{-10}}{7.3\times10^{-8}}=1.6\times10^{-5}mol/L$ 로 되며 크롬산은이 침전되기전에 염화은의 침전반응은 거의 끝난다는것을 알수 있다.(그림 4-10)

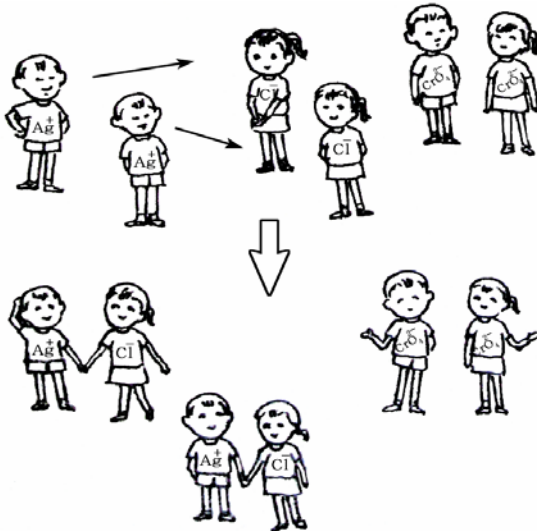



그림 4-9. 염화은의 침전반응

이상의 실험으로부터 다음과 같이 결론할수 있다.

① 용해도상수의 값이 작은 화합물은 난용성화합물이다.

② 두 종류이상의 이온이 공존하고있는 경우에 용해도상수값의 차이를 가지고 침전물이 생기는 순서를 판단할수 있는데 용해도상수로부터 침전에 필요한 시약의 농도를 구할수 있고 이 값으로부터 침전물이 생기는 순서를 알수 있다.

③ 침전반응이 물질의 분리, 검출에 리용될수 있는가를 용해도상수로부터 판단할수 있다.

염화은생성반응은 식료품속의 염분을 조사하는데도 리용할수 있다.

성인병을 예방하기 위해서는 소금기가 적은 식사를 하는것이 좋다고 말하고있다.

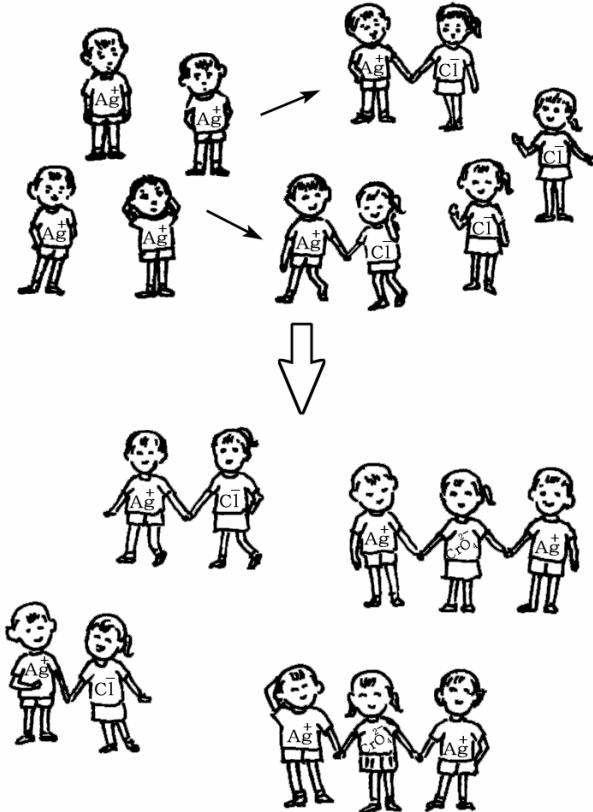



그림 4-10. 크롬산은의 침전반응

그러나 오래동안 굳어진 맛(미각)을 변화시키는것은 그리 간단치 않다. 실지 우리들이 어느 정도 소금을 섭취하고있는가를 실험 4를 응용하여 된장국속에 들어있는 염분(염화나트리움)량을 측정하여 보자.

실험 4. 된장속에 들어있는 염분량

① 0.1 mol/L의 질산은수용액을 뷰레트에 넣고 령눈금에 액면을 맞춘다.

② 된장국을 려과하고 려액을 얻는다.(된장국의 상층액을 취해도 된다.)

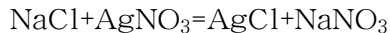
③ 비커에 ②의 려액 2mL를 정확히 넣고 거기에 증류수 약 10mL와 0.1mol/L의 크롬산칼리움수용액 2mL를 넣는다.

④ ③의 비커를 잘 흔들어 혼합하면서 ①에서 준비한 질산은수용액을 적하한다. 충분히 흔들어 혼합해도 붉은색이 사라지지 않을 때까지 질산은수용액을 적하하고 그때 뷰레트의 눈금을 읽는다.(이것을 *V*mL라고 하자.)

⑤ 다음 식에 의해 된장국 1L속에 들어있는 염분량(g/L)을 구한다.

염분량(g/L)=0.1[mol/L · *V*[mL]/2mL · (23(Na)+35.5(Cl))(g/mol)

실험 4로 부터 염화물이온 Cl^-와 크롬산이온 CrO_4^{2-}가 같이 있는 용액에 음이온을 포함한 용액을 넣으면 먼저 염화은의 흰색침전물이 생기고 다음 크롬산은의 붉은색침전물이 생긴다는것을 알았다. 또한 염화나트리움과 질산은 반응에서도 다음식에서 보는바와 같이 염화나트리움 NaCl과 질산은 $AgNO_3$이 같은 물질량일 때 남김없이 반응한다.

$$NaCl+AgNO_3=AgCl+NaNO_3$$

그러므로 된장속에 들어있는 염분을 모두 염화나트리움이라고 가정하면 된장속에 크롬산칼리움수용액을 조금 넣었으므로 질산은수용액을 넣어주면 붉은색의 침전물이 생길 때까지의 물질량이 된장속에 포함된 염화나트리움의 물질량으로 된다.

제3절. 침전물생성과 pH

용해도상수가 가장 많이 쓰이는것은 어떤 용액속에 어떤 금속이온이 포함되여있는가를 찾는 양이온정성분석이다. 양이온정성분석가운데서 류화수소 H_2S에 의한 금속류화물생성의 pH의존성을 고찰해보자.

일반적으로 금속류화물은 난용성 즉 용해도상수가 작은 염인데 그

대부분은 산에 풀린다.

왜 산성으로 하면 류화물이 풀리는가?

난용성금속류화물 MS(M^{2+} 금속이온)을 포함한 수용액에서는 그것의 극히 일부가 M^{2+}와 S^{2-}로 용해되고 평형상태로 된다.

$$MS \rightleftharpoons M^{2+}+S^{2-} \quad (1)$$

이 용액에 산을 넣으면 식(2), (3)의 가역반응인 정반응(오른쪽으로 진행되는 반응)이 일어나 류화수소가 생기며 류화물이온의 몰농도 $[S^{2-}]$가 감소한다.

$$S^{2-}+ H^{+} \rightleftharpoons HS^{-} \quad (2)$$

$$HS^{-}+ H^{+} \rightleftharpoons H_2S \quad (3)$$

그 결과 $[S^{2-}]$와 $[M^{2+}]$의 적이 용해도상수보다 작아지므로 류화물이 용해되여나온다.

실험 5. 류화수소와 카드미움이온, 아연이온

① 0.02mol/L의 질산카드미움(Ⅲ)수용액을 3개의 시험관에 2mol씩 취한다.

(a) 그중 하나의 시험관에 0.1mol/L의 염산용액 2mol을 넣는다.

(b) 다른 하나의 시험관에는 염산-초산나트리움완충용액 2mol을 넣는다.

(C) 세번째 시험관에는 초산-초산나트리움완충용액 2mol을 넣는다. 이 3개의 시험관에 류화수소를 넣어서 변화를 고찰한다.

② 0.02mol/L의 질산아연수용액을 3개의 시험관에 2mL씩 취하고 ①과 같이 조작한다.

③ 0.02mol/L의 질산니켈수용액을 3개의 시험관에 2mol씩 취하고 ①과 같이 조작한다.

1.0mol/L의 염산과 1.0mol/L 초산나트리움수용액 그리고 물의 체적비 1:1:2의 혼합용액, pH가 약 2.6으로 유지된다.

그림 4-11

0.1mol/L 초산수용액과 0.1mol/L 초산나트리움수용액의 체적비 1:1의 혼합용액, pH가 약 4.7으로 유지된다.

두갈래시험관의 한쪽에 류화철(Ⅱ) FeS를 넣고 다른 쪽에 염산을 넣는다. 시험관을 기울여서 류화철과 염산을 반응시켜 류화수소를 얻는다.(그림 4-11)

수소이온의 농도가 클수록 식 (2), (3)의 평형은 오른쪽으로 치우치기때문에 류화물은 용해되기 쉽다. 그러므로 류화물의 용해성은 용해도상수의 크기뿐아니라 용액속의 수소이온의 농도의 크기에 따라서도 변한다.

H_2S는 약산이고 전해질해리상수는 $1.1\times10^{-22}(moL/L)^2$이다.

$$\frac{[H^+]^2\cdot[S^{-2}]}{[H_2S]}=1.1\times10^{-22}(mol/L)^2$$

또한 상온부근에서 류화수소포화용액속의 류화수소의 농도 $[H_2S]$는 0.1moL/L로 일정하다. 그러므로 $[S^{2-}]$는 $[H^+]$에 반비례 한다.

$$[S^{2-}]=1.1\times10^{-22}\times[H_2S]\times\frac{1}{[H^+]^2} \qquad (4)$$

식 (4)에 의해 실험 5의 (a)부터 (c)까지 매 시험관의 수용액에 류화수소를 통과시킬 때 $[S^{2-}]$의 최대값은 다음과 같이 된다.

$$a : [S^{2-}]=\frac{1.1\times10^{-23}}{0.1^2}=1.1\times10^{-21}mol/L$$

$$b : [S^{2-}]=\frac{1.1\times10^{-23}}{0.1^{-2.62}}=1.7\times10^{-18}mol/L$$

pH=2.6이므로 $[H^+]=10^{-2.6}$

$$c : [S^{2-}]=\frac{1.1\times10^{-23}}{0.1^{-4.72}}=2.8\times10^{-14}mol/L$$

pH=4.7이므로 $[H^+]=10^{-4.7}$

류화물 MS의 용해도상수를 Ks_{MS}라고 하면 $[M^{2+}]\times[S^{2-}]=Ks_{MS}$가 성립한다.

실험의 매 용액 ①부터 ③에서 MS가 침전되지 않는다.

즉 매 용액에서 금속이온의 농도가 $[M^{2+}]$=0.01mol/L일 때의 $[S^{2-}]$의 최대값 $[S^{2-}]_1$은 다음과 같다.

$$[S^{2-}]_1=\frac{Ks_{MS}}{[M^{2+}]}=\frac{Ks_{MS}}{0.01}=Ks_{MS}\times10^2 \qquad (5)$$

M^{2+}가 대체로 완전히 침전할 때의 $[M^{2+}]$를 10^{-5}mol/L라고 가정하면 그것에 도달하는데 필요한 $[S^{2-}]$의 최대값 $[S^{2-}]_2$은

$$[S^{2-}]_2 = \frac{Ks_{MS}}{[M^{2+}]} = \frac{Ks_{MS}}{10^{-5}} = Ks_{MS} \times 10^5, \qquad (6)$$

이다.

실험에서 류화물의 용해도상수 Ks_{MS}는 다음과 같다.

$$Ks_{cdS} = 2\times10^{-23}, \quad Ks_{ZnS} = 3\times10^{-22}, \quad Ks_{NiS} = 3\times10^{-14}$$

이상의 결과로부터 실험조작 ①부터 ③까지의 매 용액에서 $[S^{2-}]_1$과 $[S^{2-}]_2$의 값을 구하면 표와 같다.

$[S^{2-}]_1$과 $[S^{2-}]_2$의 실험값 표 4-1

금속이온	Cd^{2+}	Zn^{2+}	Ni^{2+}
$[S^{2-}]_1$	2×10^{-26}	3×10^{-20}	3×10^{-17}
$[S^{2-}]_2$	2×10^{-23}	3×10^{-17}	3×10^{-14}

또한 $[S^{2-}]_1$(그 이상 크면 류화물로서 침전되는 농도), $[S^{2-}]_2$(그 이상 크면 거의 완전히 침전되는 농도)의 크기와 침전생성의 관계를 다음과 같이 정의할수 있다.

$\cdots(A)\cdots < [S^{2-}]_1 < (B)\cdots < [S^{2-}]_2 \cdots(C)\cdots$

(A): 침전이 일어나지 않는 범위

(B): 일부가 침전하는 범위

(C): 모두가 침전하는 범위

매 용액에서 (a)부터 (c)까지의 시험관에 류화수소를 통과시킬 때의 $[S^{2-}]_1$과 매 용액의 $[S^{2-}]_2$와의 관계를 보면 그림 4-12와 같다.

그림으로부터 알수 있는 바와 같이 질산카드미움수용액에서는 3개의 시험관의 어느것이나 누런색의 CdS가 침전한다.

질산아연수용액에서는 (a)의 시험관에서는 침전이 일어나지 않으며 (b), (c)의 시험관에서는 밤색의 ZnS가 침전한다.

또한 질산니켈수용액에서는 (a), (b)의 시험관에서는 침전이 일어

나지 않으며 (c)의 시험관에서는 검은색의 NiS가 침전한다.

이상과 같이 금속류화물의 침전물생성이 용액의 pH에 따라서 변하는것을 용해도상수를 리용하면 설명할수 있다.

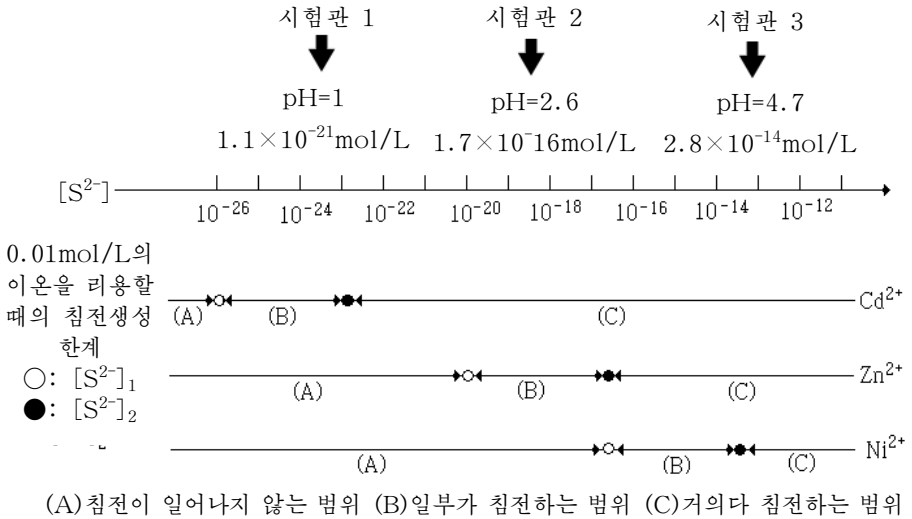



그림 4-12. 실험 5의 시험관용액의 pH와 $[S^{2-}]$

제5장. 전지화학

전지는 일상생활뿐아니라 교통운수, 해상부문을 비롯한 인민경제 여러분야에서 광범히 리용되고있다.

전지의 종류에는 태양전지를 비롯하여 여러가지 류형의 전지가 있는데 여기서는 화학반응이 일어날 때 유리되는 에네르기를 전기적에네르기로 넘기는 화학전지에 대해서만 살피기로 한다.

그러면 어떻게 전지로부터 전류가 흐르게 되는가?

전지내부에서는 어떤 화학반응이 일어나는가?

이 장에서는 여러가지 전지의 구조에 대하여 실험을 하면서 고찰해보자.

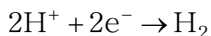
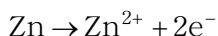
제1절. 동-아연전지

아연판을 묽은 산에 잠그면 아연판의 걸면에서 아연양이온이 점점 풀려 나간다. 이때 아연판우에는 전자가 남는다.

이 전자를 바로 용액속에 존재하는 수소이온이 받게 된다.

수소이온은 전자를 받아서 수소분자로 되여 밖으로 나온다.

$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$$

$$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$$

전자를 잃는것이 산화, 전자를 받는것이 환원이다. 결국 아연은 산화되고 수소는 환원된다.

산화반응과 환원반응을 각각 다른 장소에서 일어나게 하여 그 사이를 도선으로 련결하면 도선으로 전자가 이동하여 전류가 생긴다.

전지는 이와 같은 산환원반응을 리용한것이다.

그러면 볼타전지가 나오게 된 력사적경위에 대하여 간단히 살펴보기로 하자.

1791년 (이딸리아)의 해부학교수 갈바니는 론문 《근육운동에 대한 전지의 작용에 대하여》에서 개구리의 다리근육이 금속에 접할 때 근육이 수축하는 현상을 관찰하고 이 현상을 개구리자체가 만들어낸 동물전기에 의한것이라고 보았다.

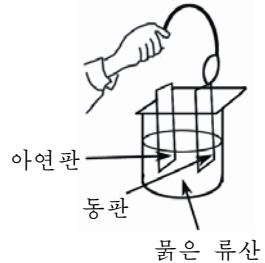
볼타는 갈바니의 개구리실험에 흥미를 가지고 추적실험과 발전적인 실험과정에 근육을 수축시키는 작용을 <동물전기>에 의한것이 아니라 두 종류의 금속과 전해액에 의해서 일어난 전지에 의한것이라는 것을 명백히 밝히고 1800년에 볼타전지를 만들고 전지의 기초리론을 완성시켰다.

볼타전지의 발명은 그후 화학을 크게 발전시켰으므로 력사적의의가 크다.

전압의 단위 V(볼트)도 그의 이름에서 유래되였다.

실험 1. 볼타전지의 원리.

① 0.2mol/L 류산이 담겨진 비커에 아연판과 동판을 접촉하지 않게 넣고 변화를 관찰한다.

② 아연판과 동판을 도선으로 련결하고 변화를 관찰한다.

1에서는 아연판의 걸면으로부터 수소가 나오는데 동판의 걸면으로부터는 수소가 나오지 않는다. 한편 ②에서는 동판의 걸면으로부터 수소가 나오는것이 관찰될것이다.

1과 같이 아연과 동에서는 묽은 류산에 대한 반응성의 차이가있다. 이것은 아연과 동의 양이온으로 되기 쉬운 경향 즉 이온화경향에서 차이가 있기때문이다. 양이온으로 되여 수용액에 용해되기 쉬운 순서로 금속을 배렬한것을 금속의 전기적활성차례라고 부른다.

금속의 전기적활성차례

Li, K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, (H_2), Cu, Hg, Ag, Pt, Au

아연은 수소보다 이온화경향이 세므로 묽은 류산에 잠그면 수소를 발생하지만 동은 수소보다 이온화경향이 약하므로 묽은 류산에 잠그어도 수소를 발생하지 않는다. 금속의 전기적활성차례는 금속의 이온화경향의 순서를 상대적으로 보여준것인데 이온화경향의 값을 정량적으로 표시한것이 바로 표준전극포텐샬이다. 표준전극포텐샬은 표준수소전극(H_2/H^+)을 기준 (0V)으로 한 값으로서 Zn/Zn^{2+} 는 -0.76v, Cu/Cu^{2+} 는 0.337V이다.

이온화경향이 큰 금속일수록 그의 표준전극포텐샬값은 부의 큰 값을 가진다. 여기서 M/M^{n+} 는 M^{n+}이온의 수용액에 M의 금속을 잠근 전극을 표시하고있다.

표준전극포텐샬값을 표 (5-1)에 주었다.

표준전극포텐샬(25℃) 표 5-1

전극	전극반응	표준전극포텐샬 $E^{‡}$ (V)
Li/Li^+	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	-3.045
K/K^+	$K^+ + e^- \rightarrow K$	-2.925
Ca/Ca^{2+}	$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	-2.866
Na/Na^+	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.714
Mg/Mg^{2+}	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	-2.363
Al/Al^{3+}	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1.662
Zn/Zn^{2+}	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0.763
Fe/Fe^{2+}	$Fe^{2+} + 2e- \rightarrow Fe$	-0.440
Ni/Ni^{2+}	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0.236
Sn/Sn^{2+}	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0.136
Pb/Pb^{2+}	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0.126
H_2/H^+	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0
Cu/Cu^{2+}	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.337
$Hg/Hg_2{}^{2+}$	$1/2Hg_2{}^{2+} + e^- \rightarrow Hg$	+0.796
Ag/Ag^+	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.793
Au/Au^{3+}	$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1.49

②에서 동판의 결면으로부터 수소기체가 발생하는것은 아연판우에서 과잉으로 축적된 전자가 도선을 통하여 동판으로 이동하고 동판의 결면에서 수소이온이 전자를 받기때문이다. 이때 아연판은 음극, 동판은 양극이고 전자는 음극으로부터 양극으로 이동한다.

전류는 양극으로부터 음극에로의 양전하의 흐름이라고 정의되고있으므로 음전하를 가진 전자의 흐름방향과는 반대로 된다.

류산수용액속에서는 아연판으로부터 Zn^{2+}가 풀려나가고 H^+가 동의 방향으로 이동한다. 이 전지를 볼타전지라고 부른다.(그림 5-1)

전류가 흐르면 전압의 일부가 H^+의 환원에 사용되기때문에 전압이 떨어지고 발생한 수소분자가 동판결면에 부착한다. 이와 같이 전류가 흐르면서 전위차가 감소하는것을 분극이라고 부른다.

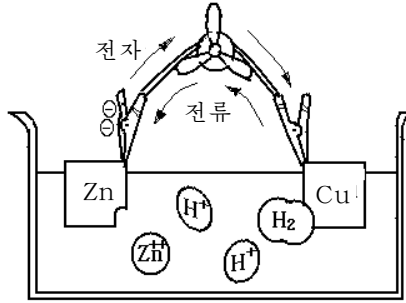



그림 5-1. 볼타전지

양극에 과산화수소나 중크롬산칼리움 등의 산화제를 넣으면 산화제(혹은 동이 산화되여 생긴 동(Ⅱ)의 화합물)가 발생된 수소분자를 수소이온으로 변화시키면서 전자를 받아들이므로 분극이 일어나지 않게 된다.

실험 2. 다니엘전지의 원리

1. 한개의 비커에는 류산아연수용액을 넣고 아연판을 잠그고 다른 하나의 비커에는 류산동수용액을 넣고 동판을 잠근다.

2. 아연판과 동판을 도선으로 련결하고 전압계의 –단자를 아연판에, +단자를 동판에 련결하고 관찰한다. 전압계와 도선을 제거하고 아연판과 동판을 비커에서 꺼낸다.

3. 필림통바닥을 자르고 바닥에 셀로판지를 대고 고무고리로 막는다.

4. 비커에 넣은 류산아연수용액에 아연판을 잠근다.

5. 이 비커속에 셀로판을 붙인 필림통을 넣고 필림통속에 류산동수용액을 넣고 동판을 잠근다.

6. 아연판과 동판을 도선으로 련결한다.

7. 전압계로 두 극사이 전압과 전류의 방향을 관찰한다.

8. 전동기 또는 압전부자(음향기)를 련결하고 동작시킨다.

전지에서 전자의 주고받기를 진행하는 반응물을 활성물질이라고 부른다.

전지에서는 음극에서 전자를 만드는 환원제(음극활성물질)과 양극에서 전자를 받아들이는 산화제(양극활성물질)사이에 산화환원반응이 일어나면서 전류를 발생시킨다. 볼타전지에서는 분극되는 결함이 있는데 1836년 다니엘(영국)이 두 종류의 용액을 써서 이 결함을 없애고 다니엘전지를 만들었다.

①과 ②에서는 전류가 흐르지 않지만 ③-⑧과 같이 아연판을 류산아연수용액에 잠그고 동판을 류산동수용액속에 잠근 다음 두쪽을 셀로판지로 가르고 련결시킬 때 전류가 흐르면 전동기나 음향기를 동작시킬수 있다.

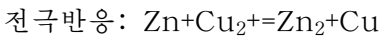
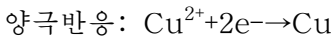
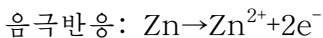
다니엘전지에서는 불타전지와 마찬가지로 아연이 음극, 동이 양극이다.

음극에서는 아연의 이온화가 일어나 아연이 풀려서 Zn^{2+}으로 산화되고 이때 생긴 전자가 도선을 따라서 양극인 동판에로 이동하며 동판겉면에서는 류산동용액속의 동이온 Cu^{2+}가 전자를 받아서 환원된다.

결국 양극에서는 류산동이 활성물질로서 작용한다.(여기서는 수소가 생기지 않으므로 수소에 의한 분극이 일어나지 않는다.)

음극반응: $Zn \rightarrow Zn^{2+}+2e^{-}$

양극반응: $Cu^{2+}+2e^{-} \rightarrow Cu$

전극반응: $Zn+Cu_2+=Zn_2+Cu$

다니엘전지에서는 아연판을 류산아연수용액속에 잠그고 동판을 류산동수용액속에 잠그어 이것들을 개개의 비커에 넣으면 전류가 흐르지 않는것은 무엇때문인가.

다니엘전지에서 전류가 흐르는것은 이온이 셀로판지를 통과할수 있기때문이다. 셀로판은 콜로이드와 같은 큰 알갱이는 통과시키지 않지만 물이나 이온은 통과시키는 매우 작은 구멍을 가지고있으므로 반투막으로서 작용할수 있다.

셀로판의 구멍이 작기때문에 두 전해질 용액이 혼합되는 속도는 매우 느리다. 이와 같은 작용을 하는 셀로판이나 자기질용기를 격막이라고 부른다.

격막을 쓰지 않으면 류산아연과 류산동의 수용액이 혼합되고 아연판우에 동이 석출되고 만다. 결국 음극판우에서만 산화환원반응이 일어나기때문에 전지로서 작용할수 없게 된다.

보통 다니엘전지 (-)Zn | $ZnSO_4$(수용액) | $CuSO_4$(수용액) | Cu(+)에서는 Zn^{2+}가 포화되든가 Cu^{2+}가 적어지는것을 방지하기 위하여 류산아연수용액의 농도를 작게 하고 류산동수용액의 농도를 크게 하고있다.

다니엘전지의 전동력값은 류산아연수용액과 류산동수용액의 농도에 따라서 약간 변하는데 대체로 1.1V이다.

다니엘전지의 표준전동력값은 Cu/Cu^{2+}와 Zn/Zn^{2+}와의 표준전극포텐샬의 차와 같다. 즉 (0.337)-(-0.763)=1.100(V)이다.

제2절. 망간전지

현재 사용되고있는 전지는 1868년 프랑스의 루클란쉐에 의하여 고안된 건전지가 기본으로 되고있다. 이 전지의 음극은 아연, 양극은 고체인 산화망간(Ⅳ)(이산화망간) MnO_2, 전해액으로서 염화암모니움 NH_4Cl이 사용되고있다.

건전지의 전극활성물질로 쓰이는 산화망간(Ⅳ)을 이전에는 천연광물(MnO_2의 함량이 70-75%)이 쓰이였는데 최근에는 천연광물대신에 전기분해반응을 리용한 전해산화법으로 제조한 고순도물질을 쓰고있으며 옛날건전지보다 수명이 길다.

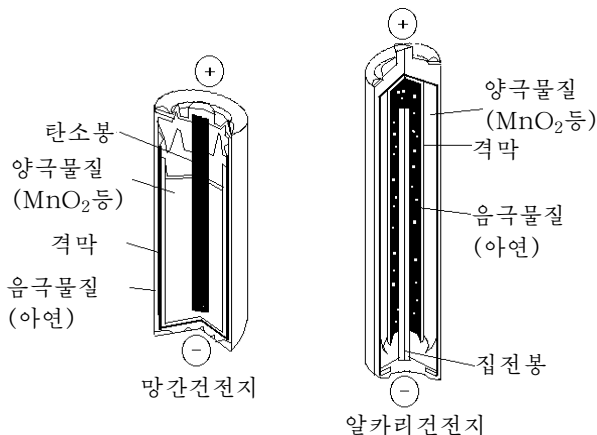



그림 5-2. 전지의 구조

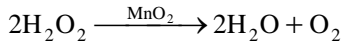
산화망간(Ⅳ)을 전해산화법으로 합성하고 그것을 써서 망간전지를 만들어 보자.

> 실험 3. 산화망간(Ⅳ)의 합성과 확인
>
> 1. 비커에 5% 류산망간수용액을 취하고 직류전원(3V)의 양극에 탄소봉, 음극에 볼수강판(또는 동판)을 련결하고 류산망간수용액에 잠근 다음 전류를 통과시켜 양극의 탄소봉우에서 산화망간(Ⅳ)을 합성한다.
> 2. 1의 실험후 탄소봉을 3% 과산화수소에 넣어보고 변화를 관찰한다.

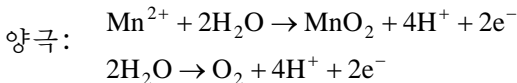
1에서는 전기분해후 탄소봉우에 검은색의 물질이 부착된것이 관측된다.

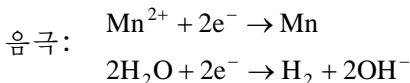
2에서와 같이 이 탄소봉을 과산화수소에 가져가면 기체가 맹렬히 발생한다. 이 기체는 과산화수소가 분해하여 생긴 산소이며 여기로부터 탄소봉우의 검은색물질은 과산화수소를 분해하는 성질을 가진 산화망간(Ⅳ)MnO_2이라는것을 확인하였다.

산화망간(Ⅳ)은 촉매로서 작용하고 과산화수소의 분해반응속도를 크게 해주는데 그 자체는 반응과정에 변하지 않는다.

$$2H_2O_2 \xrightarrow{MnO_2} 2H_2O + O_2$$

전기분해에서는 외부전원이 +극에 련결된 전극(양극)에서 전자를 잃고 산화반응(전해산화)이 일어나며 외부전원의 –극에 련결된 전극(음극)에서 전자를 받는 환원반응(전해환원)이 일어난다.

류산망간수용액의 전기분해에서는 양극에서 물이 산화되여 산소가 발생하는것과 함께 망간이온이 산화되여 산화망간(Ⅳ)이 탄소봉우에 생기게 된다.

양극: $$Mn^{2+} + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + 4H^+ + 2e^-$$
$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 2e^-$$

또한 음극에서는 물이 환원되여 수소가 발생하는것과 함께 망간이온이 환원되여 금속망간이 생긴다.

음극: $$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$$
$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

이와 같이 망간이온은 산화반응과 환원반응을 둘다 일으키고 있다.

원자나 이온의 산화정도를 나타내는 수값이 산화수이다.

산화환원반응에서 원자가 산화되면 산화수가 증가하고 환원되면 산화수가 감소한다.

류산망간수용액의 전기분해에서 망간원자의 산화수변화는 양극에서 +2→+4 (산화반응), 음극에서는 +2→0(환원반응)이다.

실험 3에서 합성한 산화망간(Ⅳ)이 붙은 탄소봉을 전지의 양극으로 리용하여 전지를 만들어 보자.

실험 4. 망간전지만들기

1. 아연, 망간전지

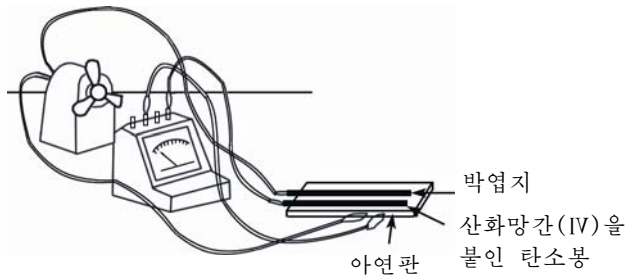
아연판우에 얇은 격막지를 한장 놓고 염화암모니움포화용액으로 적신다.

그 우에 합성한 산화망간(Ⅳ)이 붙은 탄소봉을 설치하고 전류계를 련결한다.

(전해액을 수산화칼리움수용액으로 바꾸면 알카리망간전지로 된다.)

2. 알루미니움, 망간전지

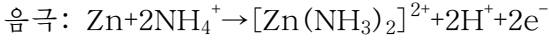
알루미니움판우에 얇은 격막지를 한장 놓고 소금포화용액으로 적신다.

그우에 합성한 산화망간(Ⅳ)이 붙은 탄소봉을 설치하고 전류계를 설치한다.

망간전지(-)Zn|NH_4Cl(포화수용액)|MnO_2·C(+)에서는 음극아연이 산화되여 전자를 내놓고 양극활성물질인 산화망간(Ⅳ)이 전자를 받아 환원된다.

다니엘전지와는 달리 망간전지는 양극활성물질이 고체물질이기때문에 건전지로서 널리 쓰이고있다.

망간전지의 반응은 일반적으로 다음과 같이 고찰하고있는데 실제로는 보다 더 복잡하다.

음극: $Zn+2NH_4^+ \rightarrow [Zn(NH_3)_2]^{2+}+2H^++2e^-$

양극: $MnO_2+H^++e^- \rightarrow MnOOH$

망간전지에서는 방전과정에 음극아연이 착이온으로 넘어가면서 내주는 전자를 받아 산화망간(Ⅳ)이 MnOOH(옥시수산화망간)으로 변화된다.

전지방전에 따라 전지전압이 떨어지는것은 바로 양극에서 생긴 MnOOH가 축적되면서 분극이 커지기 때문이다.

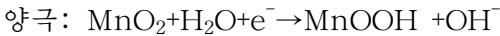
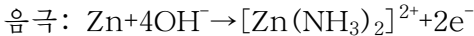
전해액인 염화암모니움은 $[Zn(NH_3)_2]^{2+}$등의 착이온을 형성함으로써 Zn^{2+}의 농도를 감소시키고 아연의 용해반응을 촉진시킨다.

전지에서 탄소봉은 전류를 모아 외부회로에로 보내는 단자로서의 역할을 수행한다.

전해액을 수산화칼리움수용액으로 바꾸면 알카리망간전지로 된다.

알카리망간전지의 방전반응식은 다음과 같다.

음극: $Zn+4OH^- \rightarrow [Zn(NH_3)_2]^{2+}+2e^-$

양극: $MnO_2+H_2O+e^- \rightarrow MnOOH +OH^-$

알카리망간전지는 보통 망간건전지에 비해 방전때의 전압강하가 작고 전지전압이 아주 오래 유지되는 특성이 있다.

제3절. 공기전지

공기중의 산소는 생명유기체에서뿐아니라 공업에서도 에네르기를 얻기 위한 모든 화학반응에 쓰이는 산화제이다.

그러면 다른 형태의 화학전지들에서 쓰이는 값비싸고 부족한 산화제들인 양극활성물질들을 대신하여 공기중의 산소를 리용할수 없겠는가. 이와 같은 요구로부터 이미 오래동안 공기중의 산소를 쓰는 화학전지를 만들기 위한 연구가 1920년대부터 시작되여 오늘날 공기전지가 나오게 되였다.

공기전지는 일반적으로 양극활성물질로는 공기중의 산소를, 음극활성물질로는 Zn, Al, Mg, Fe와 같은 금속을 쓴다.

공기전지는 양극인 공기전극이 연료전지(외부로부터 산화제와 환원제를 련속 공급해주어 그것들사이의 화학반응에서 생기는 화학적에네르기를 전기에네르기로 변환시키는 장치)에서와 같이 산화제인 공기중의

산소를 련속 빨아들이도록 만들어졌다.

또한 음극인 금속전극이 산화되면서 다니엘전지처럼 동작한다.

따라서 이 전지를 연료전지와 다니엘전지의 중간형태 일명《반연료전지》라고도 부르고있다.

공기전지에서 《연료》인 금속재료는 그것이 산화되기 쉬운 정도, 전해액과의 접촉때 안정한 정도, 리론적인 전기화학지표들(표준전극전위, 전기화학당량, 리론비용량) 그리고 그것의 원천, 가격 및 용도에 따라 선택할수 있다.

표 5-2에 몇가지 금속전극들의 전기화학적특성지표들을 주었다.

몇가지 금속전극의 전기화학적특성 표 5-2

금속 전극	전극반응	298K에서 표준전극전위	리론비용량		ηF=1일 때 1Ah당 대비가격
			A・h/g	A・h/㎤	
Mg	$Mg-2e^{-}=Mg^{2+}$	-2.37	2.1	3.58	1~1.5
Al	$Al-3e^{-}=Al^{3+}$	-1.66	2.98	8.0	0.5
Zn	$Zn-2e^{-}=Zn^{2+}$	-0.76	0.83	5.88	1
Pb	$Pb+SO_4^{2-}-2e^{-}=PbSO_4$	-0.356	0.26	2.46	2~2.5

표에서 보는바와 같이 다른 금속재료에 비하여 알루미니움금속이 리론비용량이 크고 표준전극전위값이 보다 음성이다.

또한 알루미니움은 가볍고 다르기 쉬울뿐아니라 지구상에 산소, 규소 다음으로 풍부한 원소로서 가격 또한 눅다.

알루미니움의 이와 같은 특성으로부터 그것을 화학전지의 음극재료로 쓰기 위한 연구가 오래전부터 진행되여왔다.

금속《연료》로서 알루미니움을 쓰는 경우 리용하는 전해액의 액성에 따라 그 특성은 크게 차이난다.

전해액으로 알카리 (KOH, NaOH 등)를 리용하는 경우 용량이 크고 출력이 높은 전지로서 쓸수 있지만 전해액의 탄산화, 공기전극에서의 액성에 의한 전지수명저하, 높은 반응열에 의한 전지운영의 복잡성, 가격이 비싼것으로 하여 일부 특수한 용도로만 쓰이고있다.

전해액으로서 중성염 즉 소금물(또는 바다물)을 쓰는 경우, 우와 같은 부족점들을 피할수 있을 뿐아니라 어디서나 손쉽게 얻을수 있고 전지가격이 눅으며 인체와 환경에 해를 주지 않는것으로 하여 커다란 흥미를 모으고있다.

자연계에 무진장한 공기중의 산소를 양극활성물질로, 소금물 또는 바다물을 직접 전해액으로 하는 이 전지를 일명 《바다물공기발전기》라고도 부르고있다.

그러면 공기중의 산소로부터 어떻게 전지를 얻을수 있는가.

다음과 같은 실험으로 공기전지를 만들면서 살펴보자.

실험 5. 공기전지만들기

1. 4:1의 질량비로 섞은 활성탄과 아세틸렌그을음혼합물에 실험 3에서 합성한 산화망간(Ⅳ)을 골고루 섞는다.

2. 우의 혼합물에 폴리사불화에틸렌현탁액을 20%되게 섞고 골고루 반죽한 다음 롤기로 0.1mm두께의 박막을 만든다. 이것을 촉매활성층박막이라고 부른다.

3. 한편 폴리사불화에틸렌현탁액과 아세틸렌그을음을 6:4의 비률로 섞고 골고루 반죽하여 우와 같이 0.5mm두께의 박막을 만든다. 이것을 방수기체투과층이라고 부른다.

4. 일정한 전극크기로 동그물을 자르고 인출선을 점용접하여 전극집전체를 준비한다.

5. 판모양의 전극형타우에 다음의 실례로 덧놓고 70℃의 열을 주면서 30Mpa의 압력으로 눌러 공기전극을 완성한다.(그림 5-3)

그림 5-3. 공기전극의 구조

방수기체투과층/동집전체/방수기체투과층/촉매활성층

6. 그림 3-4와 같이 ABS 수지층에 공기전극을 접착시켜 전지층을 조립하고 음극알루미니움판을 끼워놓은 다음 10% 소금물을 넣는다.

이와 같이 전지층을 4개 만들어 직렬로 련결시키고 발광전구알을 련결하여 동작상태를 살펴본다.

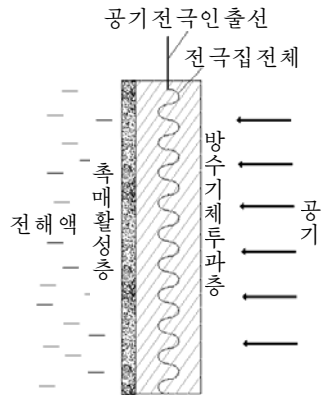
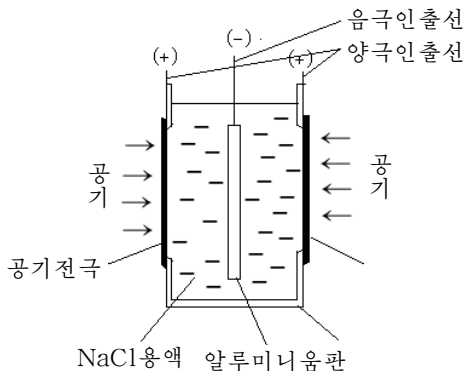



그림 5-4. 공기전지

실험에서 만든 공기전지를 동작시킬 때 음극알루미니움주변에 작은 기포들이 생기면서 소모되는것이 관찰된다.

그러나 공기전극은 동작 전과정에 아무런 변화도 관찰되지도 않으며 소모되지도 않는다.

그러면 공기전극안에서는 어떤 전기화학적변화가 일어나겠는가?

방수기체투과층은 공기중의 산소를 투과시키면서 전해액은 밖으로 새여나오지 않게 하는 두가지 기능을 수행한다. 촉매활성층에서는 투과되여 들어온 산소의 전기화학적환원반응이 일어나면서 전류가 형성된다.

$$O_2+2H_2O_2+4e^-\rightarrow 4OH^- \quad (1)$$

산소의 전기화학적환원반응은 기체산소와 전해액이 만나는 촉매상우의 3상경계면에서 일어나며 실지 우의 반응보다 더 복잡한 과정을 거쳐 진행된다.

$$O_2+H_2O+2e^-\leftrightarrow HO_2^-+OH^- \quad (2)$$

$$HO_2^-+H_2O+2e^-\rightarrow 3OH^- \quad (3)$$

즉 산소의 전기화학적환원반응은 중간체로서 과산화수소가 생기는 요소단계를 거쳐 일어난다.

여기서 둘째단계 (3)이 률속인것으로 하여 산소의 전기화학적환원과정에 과산화수소 HO_2^-가 축적되게 되는데 결과 전극전위가 떨어져 전기특성이 나쁘게 된다.

산소의 전기화학적환원반응의 중간체로 생기는 과산화수소의 축적에 의한 공기전극의 분극을 낮추고 전극특성을 작게 하기 위하여 과산

화수소의 전기화학적환원 및 접촉분해활성이 높은 산소전극촉매를 리용하고있다.

실험에서 리용된 산화망간(Ⅳ)은 바로 이러한 기능을 수행한다.

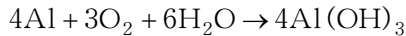
산소전극촉매로서 Pt, Pd, Ag과 같은 귀금속을 쓸 때 전극특성이 훨씬 더 좋아지며 침정식형산화코발트(Co_3O_4)를 비롯한 과도금속산화물들 그밖에 금속유기화합물, 과도금속유기착체 등도 리용할수 있다.

소금물공기전지 (−)Al | NaCl수용액 | 공기(O_2)(C+)에서는 음극 알루미니움이 다음의 반응

$$Al + 3OH^{-} - 3e^{-} \rightarrow Al(OH)_3 \qquad (4)$$

에 따라 외부회로를 거쳐 공기전극에로 전자를 내보내면서 소모되고 공기전극에서는 투과해들어온 공기중의 산소가 전자를 받아 반응식 (1)에 따라 OH^-으로까지 환원되면서 전류가 형성되게 된다.

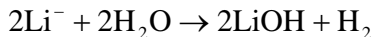
따라서 전지의 총 반응은 다음과 같이 일어난다.

$$4Al + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3$$

소금물공기전지는 비출력과 비에네르기가 높고 동작전압이 안정하며 오랜시간 유지되는 특성을 가지고있는것으로 하여 현재 통신용전원, 구조용조명전원 및 유사시전원등으로 쓰이고있다.

제4절. 리티움전지

아연보다 이온화경향이 상당히 큰 리티움을 전지의 음극에 쓰면 전동력이 3-4V인 리티움전지가 만들어 진다. 그러나 리티움은 반응성이 매우 크므로 전해액으로 물을 사용할수 없다.

물을 넣은 비커에 리티움쪼각을 넣으면 맹렬히 반응하면서 수소를 방출한다. 이때 리티움원자는 전자를 잃고 산화되여 리티움이온 Li^+로 되며 물은 전자를 받아서 환원되여 수소분자를 낸다.

$$2Li^{-} + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2$$

리티움전지의 전해액은 리티움과 반응하지는 않지만 어느 정도의 량의 전해질을 풀수 있는것과 같은 물질을 써야 한다.

이와 같이 리티움전지를 개발하는데서 전해액의 선택이 중요한 문제로 제기된다. 이 조건을 만족시키는 전해액으로서 유기전해액이 고안

되였다.

많은 경우에 리티움전지의 전해액으로서 프로필렌카르보나트, γ-부티롤락톤 그리고 테트라히드로푸란이 쓰이고있다.

표 5-3에 일부 용매들의 물리적상수값을 보여주었다.

25℃에서 여러가지 용매의 물리적상수 표 5-3

용매	화학식	상대적인 전매상수	점도 /CP	밀도 /t·m^{-3}	끓음점 /℃	녹음점 /℃
프로필렌카르보나트	$CH_3-CH-CH_2$ (O-C(=O)-O 고리)	66.1	253	1.198	241	-49.2
γ -부티롤락톤	$CH_2-CH_2-CH_2$ (O——C=O 고리)	34.1	1.75	1.125	204	-43.5
테트라히드로푸란	CH_2-CH_2, CH_2-CH_2 >O	7.4	0.46	0.880	46	-65
디메틸술폭시드	$H_3C-O-S(=O)-O-CH_3$	46.7	2.0	1.095	189	18.6
이산화류황	SO_2	12.6*	0.26*	1.491*	-10	-72.7
염화티오닐	$SOCl_2$	9.1	0.60	1.629	77	-104.5

※: 온도가 20℃인 경우

일부 경우에는 혼합용매실례로 상대적으로 높은 전매상수를 가지는 프로필렌카르보나트와 점성이 낮은 디에틸에테르를 혼합하여 쓰고있다.

최근에는 동시에 산화제로 되는 용매실례로 염화티오닐 $SOCl_2$, 액화된 이산화류황 SO_2 등을 쓰는 발전된 리티움전지가 등장하고있다.

이 산화제들은 용매로서뿐아니라 양극반응을 위한 활성물질로도 쓰인다.

1976년에 양극으로 값눅은 산화망간(Ⅳ)을 쓴 리티움 1차전지가 세계에서 처음으로 개발되였다.

이 리티움전지에서는 3V이상의 전동력이 얻어지며 종래 건전지의 2-3배 높은 에네르기밀도를 가질뿐아니라 수명도 길다.

그러면 이 리티움전지를 만들어보자.

실험 6. 리티움전지만들기

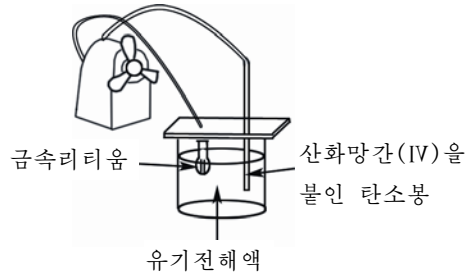
1. 유기전해액 만들기

과염소산리티움(무수물) 11g을 프로필렌카르보나트에 풀고 전량을 100mL로 한다.

2. 산화망간(Ⅳ)리티움전지 만들기

실험 3에서 합성한 산화망간(Ⅳ)이 붙은 탄소봉에 아세톤을 뿌리고 건조로에서 수분을 건조시킨다.

1의 유기전해액을 비커에 취하고 그 속에 건조시킨 산화망간(Ⅳ)이 붙은 탄소봉과 금속리티움을 잠그고 직류전압계를 련결하여 전동력을 측정한다.

다음 전동기 혹은 음향기를 련결하고 동작시켜 본다.

원래 양극화물질로 리용하는 산화망간(Ⅳ)은 γ-형결정구조를 가지는것이 좋은데 이것은 다량의 결합수를 함유하고있는 함수산화물이다.

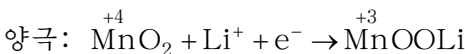
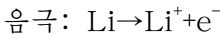
이 결합수는 전지반응에 나쁜 영향을 주기때문에 350℃정도의 온도에서 열처리하여 결정구조를 크게 변화시키지 않으면서 탈수반응을 진행하고 양극활성물질로 쓴다.

산화망간(Ⅳ)-리티움전지(-)Li 유기전해액|MnO_2(+)에서는 음극 리티움이 산화되여 전자를 방출하고 양극활성물질인 산화망간(Ⅳ)이 전자를 받아 환원된다.

이때 망간원소의 산화수는 +4에서 +3으로 변화된다.

전류형성반응을 보면 다음과 같다.

음극: $Li \rightarrow Li^{+} + e^{-}$

양극: $\overset{+4}{Mn}O_2 + Li^{+} + e^{-} \rightarrow \overset{+3}{Mn}OOLi$

보다 많은 전류를 얻기 위해서는 전극의 겉면적을 크게 하고 전극

사이거리를 좁히면 좋다.

전극끼리 맞붙지 않도록 셀로판을 격막으로 쓸수도 있다.

현재 높은 전압과 긴 수명을 가진 전지, 충전하여 수백회 반복하여 쓸수 있는 2차전지 등 여러가지 용도에 맞는 새로운 전지개발에 관한 연구가 활발히 진행되고있다.

가소물을 사용하면 얇고 가벼운 전지를 만들수 있다.

폴리아닐린과 같이 전기전도성이 좋은 가소물을 합성하고 이것을 전지의 양극물질로 쓴 2차전지도 실용화되고있다.

폴리아닐린은 전도성유리든가 볼수강판을 전극으로 하여 아닐린염의 산성용액에 직류를 걸어주어 양극의 전극우에 합성하여 얻을수 있다.(산화반응에 의한 전해중합)

폴리아닐린을 쓴 전지에서는 전지가 방전됨에 따라서 폴리아닐린의 색이 푸른풀색으로부터 누런색으로 변하며 충전하면 다시 누런색으로부터 푸른풀색으로 돌아온다. 이 현상을 전기크로믹크 (electro chromic) 현상이라고 부른다.

전지화학은 매우 흥미있으며 힘을 넣어야 할 분야이다.

제6장. 빛화학

위대한 수령 **김일성**대원수님께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새로운 과학분야들을 개척하고 최신과학기술의 성과를 인민경제에 널리 받아들이며 중요한 기초과학부문들을 적극 발전시켜야 합니다.》(《**김일성**전집》 제27권, 391페지)

《$CuSO_4$수용액은 왜 푸르게 보이는가?》이 물음에 일반적으로 《Cu(Cu^{2+})가 포함되여 있기때문이다.》라고 말한다.

그러나 무기화학 특히 과도원소에 대하여 학습한 후에는 $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$가 포함되여있기때문이라고 대답할것이다.

같은 Cu^{2+}에서는 배위자가 변하면 색은 변한다. 그러면 《왜 배위자가 변하면 색이 변하는가?》라고 하면 대답하기가 힘들다.

$[Cu(H_2O)_4]^{2-}$가 푸르게 보이는것은 무엇때문인가?

같은 색에서도 불길반응과 착이온과는 어떤 차이가 있는가?

이 장에서는 불길반응과 착이온을 중심으로 색과 빛에 대한 실험을 하면서 고찰해보기로 한다.

제1절. 색과 빛

우리들은 일상 생활에서 여러가지 물질들에 대하여 <색>을 느끼게 되는데 매우 어두운곳에서는 색을 느끼지 못한다.

이와 같이 <색>을 느끼는데는 <빛>이 필요한것이다.

<색>은 <빛>이 우리들의 시신경에 어떤 작용을 미치는것이다.

태양빛은 우리들의 생활에서 없어서는 안될 기본근원이다.

지구는 태양으로부터 매해 1.5×10^{25}J 의 에네르기를 받는다.

이것은 5×10^{13}t의 석탄을 태워야 얻을수 있으며 현재 세계적인 동력소비량의 5만배이상에 해당한다.

태양빛을 프리즘으로 갈라서 고찰하면 붉은색으로부터 보라색까지의 아름다운 무지개의 7색이 보인다.(그림 6-1)

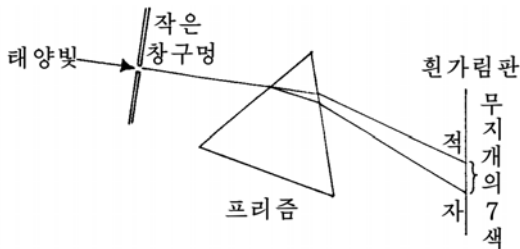



그림 6-1. 무지개의 7색

무지개의 7가지 색은 그림 6-1과 같은 실험을 진행하지 않아도 직사분광기로 볼수 있다.

실험 1. 직사분광기로 태양빛을 관찰

직사분광기로 태양빛을 직접 보지 말아야 한다.

직사분광기를 밝은 창문쪽으로 향하게 하고 무지개의 7색이 보이는가를 확인하여라.

직사분광기가 없으면 간단히 분광기를 만들어 관찰해도 된다.

만드는 방법은 그림 6-2와 같다. 곽의 한쪽에 가늘고 긴 구멍(실틈)을, 다른 한쪽에는 둥근 구멍을 뚫고 둥근 구멍쪽에 테프리카(복사용)회전살창막을 붙이면 완성된다.

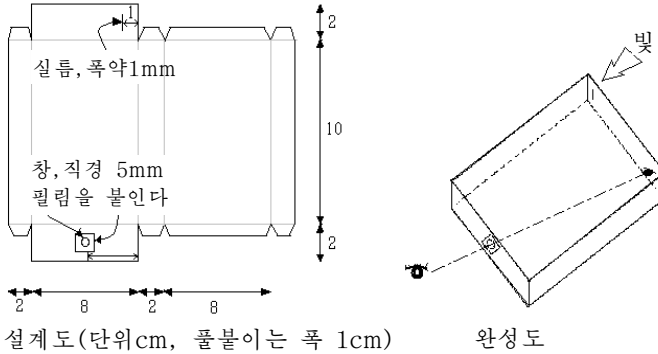



그림 6-2. 간단히 분광기를 만드는 방법

실틈을 밝은 쪽을 향하게 하고 둥근 구멍으로 들여다 보면 무지개의 아름다운 7색이 보인다.

직사분광기보다는 성능이 낮기때문에 불길반응등은 보기 힘들며 다른 실험은 가능하다.

곽의 크기는 그림 6-2와 같이 적당히 하는것이 좋다.

곽을 만드는 종이는 어느 정도 두께가 있는것이 좋다.

특히 곽을 조립할 때 종이를 풀칠한 부분에서 빛이 들어오지 않도록 해야 한다.

만일 틈으로 빛이 들어오면 검은 비닐테프나 고무테프 등을 붙여서 빛을 차단해야 한다.

빛은 일종의 전자기파이면서 동시에 량자로서의 성질을 가진다.

빛량자는 운동량과 에네르기를 가지며 공간에서 $3\times10^{8}\mathrm{m\cdot s^{-1}}$의 속도로 운동한다. 전자기파의 특징은 파장과 진폭으로 나타낼수 있다.(그림 6-3)

특히 색과 련계가 깊은것이 파장이다.

태양빛가운데서 무지개의 7색부문을 《보임빛선》이라고 부른다.

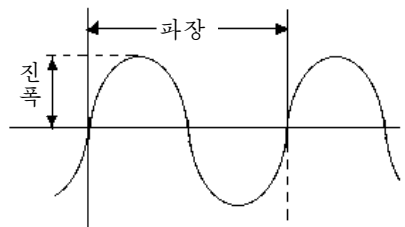



그림 6-3. 파장과 진폭

문자그대로 볼수 있는 빛이다.

보임빛선의 부분을 파장으로 나타내면 대략 800nm-400nm이다.

어느 파장의 빛이 어느 색을 띠는가를 그림 6-4에 주었다.

그림 6-4. 보임빛선과 파장의 관계

일반적으로 무지개의 7색은 다음과 같이 느낀다.

적, 등, 황, 록, 청, 남, 자

그러나 7색으로 보이는가 어떤가는 사람마다 차이가 있다.

태양빛가운데는 800nm보다 긴 파장의 적외선이나 400nm 보다도 짧은 파장의 자외선도 있다.

그러나 사람의 시신경은 이 빛에 대하여 느낄수 없다. 그러므로 우리들이 눈으로 볼 때의 색을 고찰하는 조건에서는 보임빛선만을 문제로 하면 좋다.

사람과는 달리 보임빛선이외의 빛을 느끼는 생물체도 있다.

꿀벌은 650nm-300nm의 빛을 느낀다.

그러므로 감색으로부터 보라색외에 자외선을 느끼는 꿀벌의 눈으로 본 무지개의 빛은 사람과는 다르게 보일것이다.

태양빛과 같이 적외선으로부터 자외선까지 다 포함된 빛은 우리들에게 색감각을 주지 않는다. 이와 같은 빛을 흰빛이라고 부른다.

흰빛이라고 해서 흰색을 의미하지는 않는다.

그러면 흰빛이라는것을 어떻게 상상해볼것인가.

흰빛은 색을 느끼지 못하는 빛이다. 태양이 지면 우리는 태양이외의 빛으로 하루밤을 보낸다.

례하면 형광등이나 콤팍등트은 희게 보이는데 빛 그 자체에는 색이 느껴지지 않는다.

다시말하여 형광등이나 콤팍트등의 빛도 흰빛이라고 해야 할것이다.

> **실험 2. 직사분광기로 형광등의 빛 관찰**
>
> 직사분광기로 형광등의 빛을 보라. 태양빛과 같이 무지개의 7가지 색이 보이는가? 태양빛을 볼 때와 무엇이 다른가?

직사분광기로 형광등빛을 볼 때의 상태를 가늠해보면 그림 6-5와 같다.

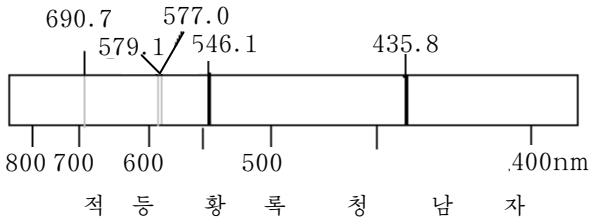



그림 6-5. 직사분광기로 본 형광등의 빛

그림에서 보는바와 같이 형광등빛은 무지개의 7색과는 달리 황색과 록색사이의 령역에 무엇인가 《눈부신 선》이 보인다.

그러면 이 《눈부신 선》은 무엇인가? 이것은 바로 형광등속에 있는 수소원자가 내는 빛이다.(제2절 참고)

제2절. 불길반응

태양이나 형광등의 빛과 같은 흰빛은 <색이 없는 빛>이다. 이것에 대응하여 《색이 있는 빛》도 존재한다.

《색이 있는 빛》을 직사분광기로 보면 무지개의 7색이 보이겠는가?

《색이 있는 빛》으로서는 실례로 나트리움등에서 나오는 빛을 들수 있다.

나트리움등은 고속도도로의 차동굴안의 조명에 쓰이고있는 감색빛을 내는 등이다.

이 등은 유리속에 나트리움을 봉합한것인데 높은 전압이 걸리면 감색빛을 발산한다.

만일 학교의 물리실험실들에서 교재용의 나트리움등을 보는 기회가 생긴다면 내부를 잘 관찰하기를 바란다. 그러면 그안에 금속광택을 띤

고체가 들어있다는것을 알수 있다. 그것이 바로 나트리움이다.

실험 3. 직사분광기로 나트리움등의 빛관찰
교재용나트리움등에 높은 전압을 걸어주어 방전시키고 방을 어둡게 하여 보라. 무슨 색이 보이는가? 시간이 지나면 색이 변하는데 어떤 색으로 보이는가? 나트리움등을 직사분광기로 보자. 무지개의 7색이 보이는가? 나트리움등의 빛은 보임빛선을 다 포함하고있는가? 나트리움등의 빛을 흰빛이라고 해도 좋은가?

나트리움등을 방전시키면 초기에는 푸르스레한 빛이 보인다.

시간이 가면서 고체나트리움이 적어지고 기체나트리움원자가 증가하면 감색이 진해진다.

감색으로 된 다음 직사분광기로 나트리움등을 관찰해보자.

나트리움등의 빛은 무지개의 7색을 나타내지 않는다.(그림 6-6)

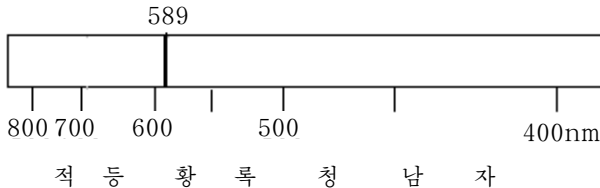



그림 6-6. 직사분광기로 본 나트리움등의 빛

그러므로 보임빛선을 다 포함하고있지 않다. 즉 흰빛이 아니다.

그 대신에 곳곳에 《눈부신 선》이 보인다. 특징적인것은 파장 589nm 령역의 《눈부신 선》이다. 이것이 나트리움원자가 내는 빛인것이다.

일반적으로 빛을 분광기로 분해할 때에 얻어진 일련의 빛의 세기분포를 스펙트르라고 부른다.

흰빛을 직사분광기로 보면 련결된 스펙트르가 얻어진다. 이것을 련속스펙트르라고 부른다.

한편 색이 있는 빛은 특정한 파장부분에 선상스펙트르가 보인다. 이것을 선스펙트르라고 부른다.

특정의 파장의 선스펙트르는 기체원자가 내는 빛이다.

나트리움등의 감색은 나트리움원자가 내는 빛인것이다.

나트리움의 경우 원래 어떤 스펙트르가 존재하는가?

명백히 보이는것은 등의 선스펙트르가 하나인것이다.

이것을 엄밀하게 고찰해보면 589.6nm와 548.0nm의 두가지 선스펙트르로 갈라진다.

높은 전압을 걸어줄 때 색이 있는 빛을 내는것은 나트리움만이 아니다.

례하면 드문기체의 하나인 네온은 붉은색빛을 낸다.

네온싸인의 붉은색빛은 문자그대로 네온원자가 내는 빛이다.

나트리움등의 빛을 보고 이전에 화학실험실에서 불길반응실험을 한일을 상기하는 사람도 있을것이다.

사실은 불길반응의 원리도 같다.

나트리움등은 전기에네르기로 나트리움을 원자상태로 만들지만 불길반응에서는 열에네르기로 나트리움을 원자상태로 만든다.

나트리움의 불길반응을 직시분광기로 볼 때의 상태를 그림 6-7에 보여주었다.

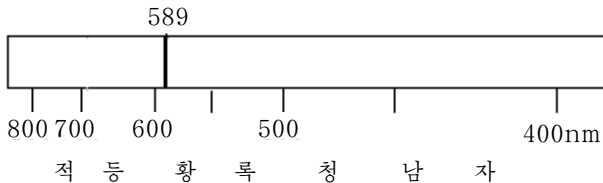



그림 6-7. 직시분광기로 본 나트리움의 불길반응

나트리움원자가 나타내는 특징적인 색인 감색이 보이는 순간에 나트리움등에서와 같은 위치에 센 감색의 선스펙트르 1개를 볼수 있다.(성능이 좋은 분광기이면 두개로 갈라진다.)

그러면 다른 원소의 경우는 어떠한가?

실험 4. 직시분광기로 불길반응 관찰

불길반응실험을 다음의 수용액으로 진행한다.

$LiCl$, $NaCl$, $KCl(KI)$, $CaCl_2$, $SrCl_2$, $BaCl_2$

방을 어둡게 하고 우의 수용액을 백금선에 묻혀서 불길에 가져가 대본다.

직시분광기로 나트리움의 불길반응을 보자. 선스펙트르가 보이는가? 다른 원소의 불길반응에서는 어떻게 보이는가?

나트리움의 경우와 마찬가지로 불길반응을 보는 순간에 센 스펙트르를 볼수 있을것이다. 그러나 선스펙트르 한개만 나타나는것이 아니라 불길반응의 색과는 다른 위치에도 선스펙트르가 보인다.

중요한것은 원소가 다르면 불길반응의 색도 달라지는것과 같이 선스펙트르의 위치(빛의 파장)도 달라진다. 즉 원자가 내는 빛은 원소의 종류에 따라 다르다.

그러므로 원자의 선스펙트르의 파장을 조사하면 어느 원소인가를 구별할수 있다. 력사적으로 보아도 선스펙트르특성에 의하여 새로운 원소가 발견된 경우도 있다.

물질이 내는(다른 점에서 서술하면 물질이 빛을 흡수하는 경우도 있다.) 빛스펙트르를 측정하고 그것에 기초하여 물질의 상태와 구조를

연구하는 학문을 분광학이라고 부른다.

분광학은 다양한 분야에서 큰 기여를 하여왔다. 현재 분광학은 중요한 연구수단의 하나로 되고있으며 분광학이 없는 화학은 도저히 생각할수 없다.

원소를 발견하는데서도 분광학은 큰 기여를 하고있다.

그 전형적인 례를 보면 불길반응에서 친숙해진 《알카리족금속원소》의 발견을 들수 있다.

알카리금속원소는 자연계에 단순물상태로가 아니라 화합물상태로 존재한다.

화합물로부터 단순물상태로 알카리족금속원소를 뽑아낸다는것은 쉽지 않다. 이때문에 알카리족금속원소의 발견이 늦어졌다.

처음으로 알카리족금속원소를 발견한것은 영국의 데이비였다.

그는 1810년경에 전기분해에 의하여 알카리족금속원소를 뽑아내는데 성공하였다.

전기분해가 가능하게 된것은 바로 1800년에 볼타(이딸리아)가 전지를 발명하였기때문이다. 그러나 전기분해로 골라낸것은 리티움, 나트리움, 칼리움까지이고 루비디움과 세시움은 뽑아내지 못하였다.

루비디움과 세시움은 1850년경에 새로운 스펙트르측정법을 도입하여 처음으로 발견하였다.

발견자는 도이췰란드의 분쎈과 키르히호프이다.

원소이름은 스펙트르의 색에서 유래되였다. 즉 루비디움은 붉은색, 세시움은 푸른색이다.

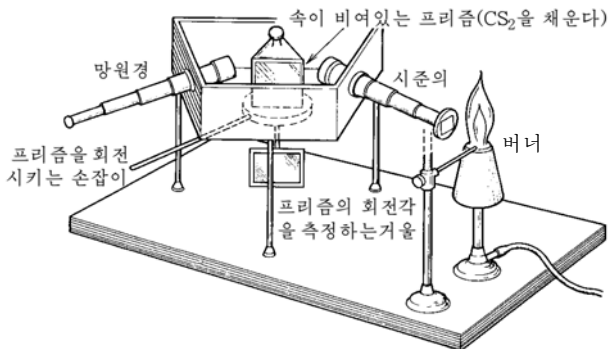



그림 6-8. 분쎈과 키르히호프가 리용한 분광기

이와 같이 화학의 연구는 새로운 장치나 방법의 발견과 밀접히 련

관되여있다.

그러면 왜 원자가 내는 빛은 원소의 종류에 따라 달라지는가? 원자는 왜 빛을 내는가?

원자에 에네르기를 주면 원자안의 전자가 그 에네르기를 받아 높은 에네르기를 가진 다른 궤도로 이동한다.(그림 6-9의 ㄱ))

다른 궤도로 이동한 원자는 에네르기가 높고 불안정하므로 에네르기를 방출하고 본래 궤도에로 돌아온다. 이때 두 궤도의 에네르기차에 해당한 에네르기가 빛으로서 방출된다.(그림 6-9의 ㄴ))

그림 6-9. 전자의 이동과 빛의 방출

원자의 종류가 달라지면 궤도사이의 에네르기차도 달라진다.

에네르기차가 달라지면 거기에 대응하는 빛의 파장도 달라진다.

이것이 원소의 종류에 따라서 원자가 내는 빛의 파장이 달라지는 리유이다.

제3절. 빛의 흡수

흰빛아래에서 물체를 보면 그 물체의 본래의 색 즉 빨간 사과는 빨갛게, 푸른 남새는 푸르게 보인다.

그러면 색이 있는 빛아래에서 물체를 보면 어떻게 되겠는가?

나트리움등 아래에서 여러가지 물체를 보자. 본래의 색과 같게 보이는가?

간단히 실험하기 위해서는 방을 어둡게 하고 나트리움등 가까이에서 색체가 있는 그림책을 보는것이다.

본래의 색과 어느 정도로 차이나는가?

나트리움등이 없는 경우에는 고속도도로의 차동굴안에 설치된 나트리움등 아래에서도 할수 있다. 이러한 현상을 체험한 사람들도 있을것이다. 이와 같이 색이 있는 빛아래에서는 본래의 색을 느낄수 없다.

본래의 색을 느끼자면 태양빛과 같이 보임빛선을 다 포괄하고있는 빛아래에서만 물체를 볼 필요가 있다.

나트리움등은 빛을 내기때문에 감색으로 보인다. 그러면 《빛을 흡수한다.》면 어떤 색으로 보이겠는가?

우선 자외선을 리용하여 빛의 흡수를 실험해보자.

실험 5. 자외선의 흡수

자외선등아래에 형광펜을 놓으면 아름답게 보인다.

자외선등과 형광펜사이에 무색투명한 유리판을 넣어보자.

무색투명한 아크릴판을 넣으면 어떻게 되는가?

주의: 자외선등은 유리가 푸른 합성수지채광판(파장 약 350nm)을 쓴다.

자외선등을 직접 눈으로 보거나 자외선이 직접 피부에 닿지 않게 해야 한다.

유리판과 아크릴판은 무색투명하고 눈으로 보기에는 차이가 없다. 어느것을 넣어도 변화가 없다고 생각된다.

실지 유리판을 넣으면 특별한 변화가 없다. 그러나 아크릴판을 넣으면 지금까지 빛나던 형광펜이 빛나지 않게 된다. 이것은 아크릴판이 자외선을 차단하기 때문이다.

정확히 말하면 아크릴판이 자외선을 흡수하기때문이다. 즉 아크릴판에 자외선이 흡수됨으로써 형광펜에 가닿지 못하고 빛나지 않게 된다.

유리는 300nm이상의 자외선을 거의 흡수하지 않기 때문에 그사이에 넣어도 변화가 없다. 그러나 좀 더 파장이 짧은 자외선이면 유리도 흡수한다.

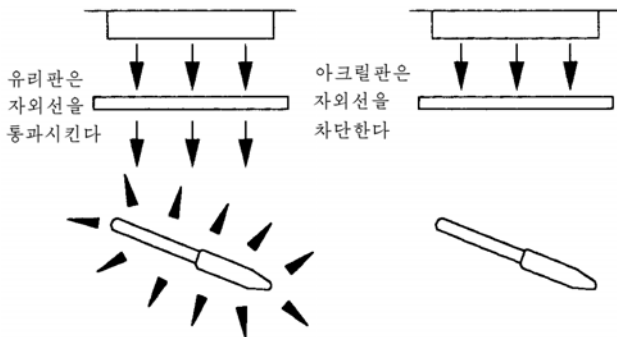



그림 6-10. 자외선의 통과 및 흡수

사람의 눈으로 보면 유리판과 아크릴판은 같은것으로 무색투명하게 보인다.(그림 6-10)

그것은 사람의 눈이 보임빛선만을 느끼고 자외선은 느끼지 못하기때문이다. 그러나 꿀벌과 같이 자외선을 느끼는 동물이면 아크릴판을 사이에 넣어 빛을 차단했을 때와 같이 느낄것이다.

아크릴판은 자외선을 흡수한다.

동일한 《빛의 흡수》는 다른 물질에서도 나타난다.

뿐만아니라 흡수하는 빛의 파장이 자외선이나 적외선이 아니고 보임빛선의 령역에 있는 물질도 있다.

실험 6. 색을 띤 용액을 통하여 본 흰빛의 스펙트르

색을 띤 용액을 무색투명한 용기에 넣고 흰빛과 직사분광기사이에 놓는다. 이 용액을 통하여 직사분광기로 흰빛을 보자.

용액이 없을 때의 스펙트르 (련속스펙트르, 무지개의 7색)와 용액이 있을 때의 스펙트르는 어떻게 차이나는가?

색을 띤 용액으로서는 류산동(Ⅱ), 과망간산칼리움, 류산니켈, 염화코발트등의 용액을 쓴다. 농도는 짙을수록 좋다. 흰빛은 태양빛이나 형광등, 콤팍등의 빛이면 된다.

실험 6의 결과를 그림 6-4에 색연필로 기록하여 보아라.

실험에서 리용한 용액들외에 크롬산칼리움 $K_2Cr_2O_7$ (누런색)이나 중크롬산칼리움 $K_2Cr_2O_7$ (감색)의 수용액을 통해서도 보아라.

과망간산칼리움수용액과 류산니켈수용액을 겹쳐서 보아도 재미있다.

색을 띤 용액을 통하여 흰빛을 보면 흰빛의 일부가 검게 보인다. 즉 보임빛선의 일부가 흡수된것이다.

그러면 용액의 색(착이온의 색)과 흡수된 파장령역의 색과의 관계는 어떠한가?

3개의 영사기로 붉은색, 풀색, 푸른보라색의 3가지 빛을 흰 가림판에 비쳐보면 다음과 같이 보인다.

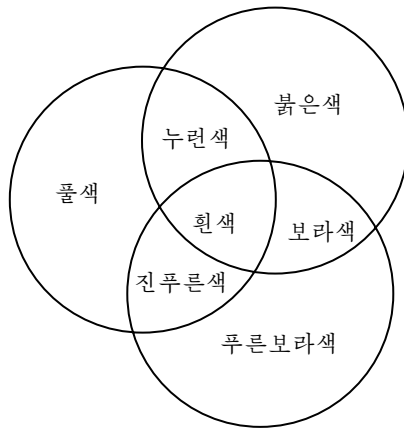



그림 6-11. 붉은색, 풀색, 푸른 보라색과 그 여색

붉은색과 풀색을 혼합한 경우는 누런색,

풀색과 푸른보라색을 혼합한 경우는 밝은 붉은보라색,

붉은색, 풀색, 푸른보라색을 혼합한 경우는 흰색.

이와 같이 색을 띤 빛(단색빛)을 혼합하여 흰색빛을 만들수 있다.

반대로 흰색빛으로부터 어떤 색의 빛을 차단할 때(즉 그 색을 나타내는 빛을 흡수) 다른 색을 나타낸다. 이때 나타내는 색을 처음색의 《여색》이라고 부른다.

실례를 들면 붉은색의 여색은 푸른색이다.

마찬가지로 풀색의 여색은 붉은보라색이며 푸른보라색의 여색은 누런색이다.

여기까지 서술하면 흡수한 파장의 색과 용액의 색과의 관계를 알수 있을것이다.

용액의 색은 흡수한 색의 여색인것이다.

그러면 보임빛선의 흡수와 용액의 색과는 어떤 관계가 있는가?

류산동(Ⅱ)수용액에 파장을 변화시키지 않으면서 빛을 비치고 어느 파장령역의 빛이 통과하기 힘든가(어느 파장령역의 빛을 흡수하는가)를 조사한다.(그림 6-12)

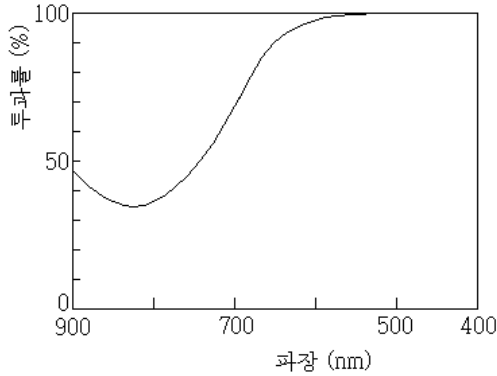



그림 6-12. 류산동(Ⅱ)수용액의 빛흡수

류산동수용액은 800nm부근의 봉우리 즉 700~900nm의 파장(감색~붉은색)의 빛을 흡수한다.

마찬가지로 과망간산칼리움의 수용액이 어느 파장령역의 빛을 흡수하는가를 조사한다. (그림 6-13) 과망간산칼리움수용액은 500~550nm(풀색)부근의 빛을 흡수한다.

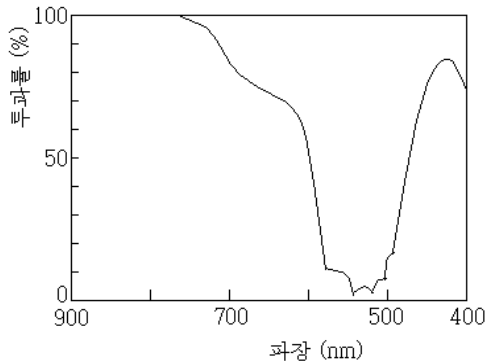



그림 6-13. 과망간산칼리움수용액의 빛흡수

색과 여색과의 관계를 그림 6-14 에 주었다.

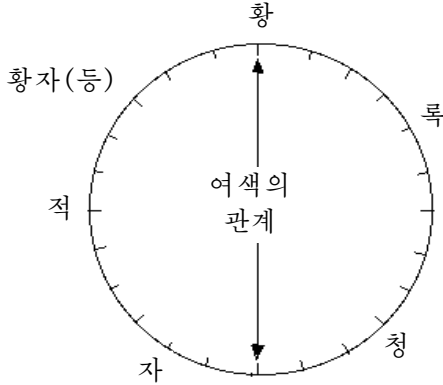



그림 6-14. 색과 여색의 관계

흡수하는 빛의 색과 용액의 색은 여색의 관계에 있다.

색을 띠고있는 용액은 그 색의 여색에 해당하는 보임빛령역의 파장의 빛을 흡수하기때문에 색을 나타내는것이다.

실례로 류산동(Ⅱ)수용액은 붉은색-감색의 빛을 흡수하므로 용액은 붉은색-감색의 여색인 푸른색으로 보인다.

과망간산칼리움수용액은 풀색빛을 흡수하므로 용액은 풀색의 여색인 붉은보라색으로 보인다.

물이 무색투명한것은 보임빛선의 파장의 빛을 흡수하지 않기때문이다.

사실 물은 적외선을 흡수한다. 사람의 눈이 적외선을 느끼게 된다면 물은 무색투명하게 보이지 않게 된다.

그러면 착이온은 왜 빛을 흡수하는가?

착이온에 빛을 쪼이면 어떤 특정의 궤도(d궤도)에 있는 전자가 빛의 파장에 대응하는 에네르기를 받고 높은 에네르기를 가진 다른 d궤도에로 이동한다.

d궤도는 5개이며 에네르기는 본래 같다. 그러나 주위에 배위자가 있으면 그 영향으로 다른 에네르기상태로 분렬된다.

분렬될 때의 에네르기차는 배위자의 종류에 따라서 달라진다. 그러므로 배위자가 변하면 d궤도사이를 이동하는것에 필요한 에네르기가 변하면 흡수하는 빛의 파장도 변한다. 결국 색이 변한다.(그림 6-15)

착이온이 색을 띠는 리치는 d궤도전자의 이동에 의한 빛의 흡수에 있다.

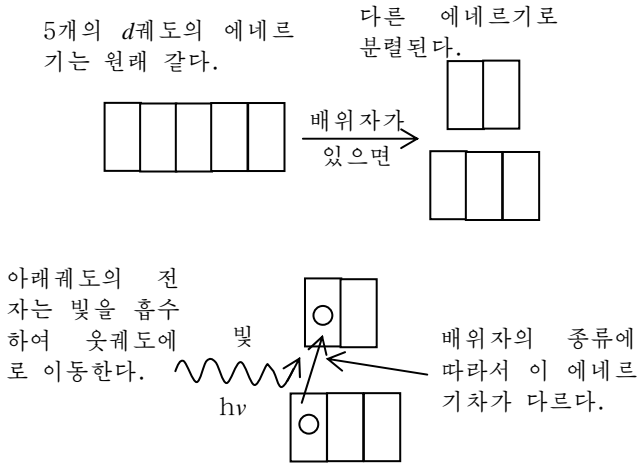



그림 6-15. 배위자의 종류에 따르는 에네르기차

흡수된 색의 여색이 사람의 눈으로 느낄수 있는 색으로 된다. 그러므로 d궤도사이를 전자가 이동하지 않는 이온에서는 일반적으로 색이 없다.

실례로 d궤도에 전자가 존재하지 않는 이온이나 d궤도에 전부 전자로 채워진 이온이다.

d궤도에 전자가 존재하지 않는 이온으로서는 전형원소인 금속이온(례하면 Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Al^{3+} 등)이 있다.

이것들의 이온화합물은 고체는 흰색, 수용액은 무색이며 색이 없다.

그것은 d궤도에 전자가 없고 d궤도사이를 전자가 이동하지 않기때문이다.

d궤도가 전부 전자로 채워진 이온으로서는 동(Ⅰ)이온 Cu^+가 있다.

Cu^+의 화합물에는 일반적으로 색이 없다. 그것은 Cu^+의 d궤도에 전자가 10개(Cu^+의 전자배치 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$)이며 이 궤도에 전자가 꽉 들어차있어 d궤도사이를 전자가 이동할수 없기때문이다.

제7장. 생활용품과 화학

화학이 인간생활에 주는 혜택은 매우 크다. 우리가 일상 사용하고 있는 비누나 치약에는 향료인 에스테르가 포함되여있으며 우리가 입고 있는 옷들은 화학섬유로 만든것이다.

또한 생활에서 없어서는 안될 수도물에는 살균자용을 위하는 염소가 포함되여있다. 실로 셀수 없이 많은 화학물질이 우리 주위에서 사용되고있다.

화학의 덕이 없이는 현대생활은 성립되지 않으며 생각할수도 없다.

이 장에서는 일상생활에서 사용되고있는 화학물질가운데서 대표적인 몇가지(례하면 합성수지로 만든 접착제, 셀로판테프, 온열주머니 등)만을 취급한다.

제1절. 접착제

사과, 바나나, 귤 등의 과일에서 나는 특유한 향기는 향기를 주는 물질인 RCOOR의 구조를 가진 에스테르라고 하는 화합물이다.

바나나의 향기를 주는 물질은 초산이소아밀[$CH_3COOCH_2CH_2CH(CH_3)_2$, 초산이소벤졸이라고도 부른다)], 귤이 향기를 주는 물질은 초산 옥틸($CH_3COOC_8H_{17}$)이라고 하는 화합물이며 이것들은 청량음료나 식료품의 향료로도 쓰이고있다.

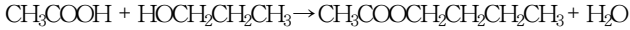
또한 일상 사용하고있는 방이나 자동차 등에서 방향수나 향수로도 쓰이고있다.

에스테르는 기타 접착제, 뼁끼 등의 용매로서도 쓰이며 공업제품이나 의약품 등의 합성원료로서도 쓰이는 중요한 화합물이다.

접착제로는 일반적으로 초산에틸보다도 끓음점이 높은 초산부틸이 쓰이고있다.

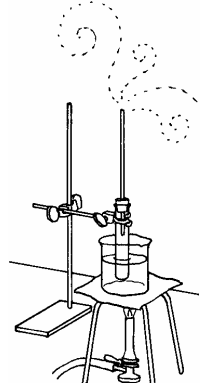
초산부틸을 합성하여 합성수지접착제를 만들어보자.

실험 1. 초산부틸합성

$$CH_3COOH + HOCH_2CH_2CH_3 \rightarrow CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3 + H_2O$$

초산　　　부타놀　　　초산부틸

1. 시험관에 초산부타놀을 각각 2mL씩 넣고 여기에 질은 류산 1mL를 넣은 다음 가볍게 흔들면서 비석을 넣는다.

2. 이 시험관을 유리관이 설치된 코르크마개로 막고 120℃의 기름욕에서 15min간 가열한다.

3. 방온도부근까지 랭각시킨후 5mL의 물을 시험관속에 넣고 잘 흔든다.

실험 2. 합성수지접착제 만들기

1. 합성수지로 된 가소물쪼각 0.03g을 가늘게 자르고 시료저장통에 넣는다.

2. 여기에 초산부틸 0.5g을 넣고 마개로 잘 막은 다음 하루밤 놓아든다.

가소물을 초산부틸에 녹여서 간단히 접착제를 만들고 합성수지접착제로서 사용할수 있다. 이와 같이 에스테르는 용매로서 광범히 쓰이고 있다.

메타놀(CH_3OH)이나 에타놀(CH_3CH_2OH)은 -OH원자단기를 가지고있으므로 물(H_2O)과 구조가 류사하며 물에 임의의 비률로 풀린다.

부타놀의 경우에는 알킬기(CH_3-, C_4H_9-와 같은 탄소와 수소로 이루어진 기)가 크고 물과 구조적차이가 크기때문에 100g의 물에 약 8g밖에 풀리지 않는다.(용해도: 8g/100g・물)

초산은-COOH기를 가지고있으므로 물과 임의의 비률로 혼합되지만 초산에틸은 물에 풀리기 힘들다.(용해도: 9g/100g・물)

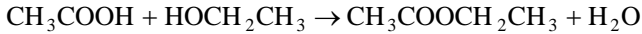
에스테르의 경우에도 알킬사슬이 커짐에 따라 물에 대한 용해도는 작아진다.

에스테르는 성질이 다른 비극성인 알킬기의 부분과 얼마간 분극된 극성인 에스테르결합부분 (-COO-)을 분자내에 가지고있으므로 각종

유기화합물을 잘 푸는 용매로서 널리 쓰이고있다.

에스테르를 합성할 때 먼저 실험 1의 례와 같이 류산을 촉매로서 사용하는데 류산이 어떤 역할을 하는가를 고찰해보자.

실험 3. 에스테르의 합성과 촉매

$$CH_3COOH + HOCH_2CH_3 \rightarrow CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

초산 에타놀 초산에틸 물

1. 4개의 시험관에 초산 1mL와 에타놀 1mL를 넣는다.

2. 그중 3개의 시험관에 각각 0.5mL씩의 질은 류산, 질은 염산 1mol/L 류산을 넣는다.

3. 4개의 시험관을 자주 흔들어 주면서 약 80℃의 물욕에서 5min간 가열한다.

4. 초산과 에타놀만을 넣은것, 질은 류산을 넣은것, 1mol/L류산을 넣은 것, 질은 염산을 넣은것 순서로 냄새를 맡아본다.

물 1mL를 개개의 시험관에 넣고 가볍게 흔들어준 다음 용액의 분리상태를 살펴본다.

우의 실험에서는 질은 류산을 넣은 경우에만 초산에틸이 생성되였다는것을 향기로운 냄새가 나는것을 통하여 확인할수 있다.

그러면 질은 류산은 어떤 역할을 하는가?

질은 류산의 농도는 보통 98%이고 밀도는 1.84g/mL(15℃)이며 2%정도의 물을 포함하고있다. 이것의 몰농도는 18mol/L이다.

물과는 임의로 혼합되는데 이때 많은 열이 발생한다.

그러므로 질은 류산을 희석하는 경우에는 밀도가 높은 질은 류산에 밀도가 낮은 물을 부어넣으면 겉면부근에서 발열되면서 급격히 가열되여 뜨거운 류산이 폭발적으로 비산하는 위험성이 있다.

질은 류산을 희석할 때에는 반드시 교반하면서 질은 류산에 물을 조금씩 부어넣어야 한다.

종이에 묽은 류산으로 그림을 그리고 뜨거운 가열판우에서 덥히면 그림이 검게 되면서 뚜렷하게 도드라져 보인다.

이것은 묽은 류산이 가열에 의해 농축되여 질은 류산으로 되면서 탈수작용을 하기때문이다.

즉 종이를 이루고있는 섬유소($C_6H_{10}O_5$)로 부터 물이 빠지면서 탄

화되기때문이다.

초산에틸합성에서는 초산과 에타놀의 탈수축합에 의하여 물이 빠진다. 이 반응은 평형반응이므로 생성된 물을 제거하면 반응은 에스테르를 생성하는 방향으로 진행된다.

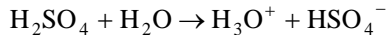
에스테르화가 진행될 때 류산을 쓰는것은 류산이 산촉매로서 작용하는것과 함께 탈수작용에 의해 형성된 물을 제거하는 작용을 하기때문이다.

짙은 류산에서는 어떻게 되여 탈수작용이 일어나는가?

같은 산에 대해서도 물을 포함한 묽은 류산이나 짙은 염산(37.2%의 염화수소를 포함한 수용액, 밀도 1.19g/mL, 몰농도 12mol/L)에서는 탈수작용이 없다.

짙은 류산이 탈수작용을 하는것은 짙은 류산이 물을 거의 포함하지 않는 센 산이기때문이라고 생각할수 있다.

류산은 물과 작용하면 류산이 산, 염기로서 작용하며 H_3O^+와 HSO_4^-을 만든다.

$$H_2SO_4 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + HSO_4^-$$

H_3O^+와 HSO_4^-은 수용액속에서 물의 큰 유전률(진공속에서 +와 –전하사이에 작용하는 힘인데 어떤 용액속에서 몇분의 1로 약해지는가를 보여주는 값, 물의 유전률은 80)에 의해 양이온과 음이온사이에 작용하는 정전기적끌힘이 약해지고 또한 이온을 용매가 에워싸는 용매화에 의하여 안정화되기때문에 거의 독립적으로 존재한다.

수용액이 아닌 경우에는 양이온과 음이온은 정전기적끌힘에 의하여 서로 강하게 끌어당겨 이온쌍을 형성한다.

다시말하면 이것은 한분자의 류산이 한분자의 물을 H_3O^+로 변화시키고 이미 물로서 자유롭게 작용하지 않는 상태로 만든다. 즉 탈수를 위한것으로 된다.

이와 같은 이온쌍의 형성에 의해 묽은 류산의 체적은 처음 짙은 류산과 물의 체적과의 합보다도 작아진다.

짙은 류산은 산촉매로서의 작용도 하고 이와 같은 이온쌍의 형성에 의한 탈수작용도 하기때문에 에스테르화촉매로 쓰인다.

이온쌍을 분리시키는데는 큰 에네르기가 필요하다. 다시말하여 이온쌍은 안정한 상태에 있다. 그러므로 웃식과 같이 이온쌍이 생성되면 많은 열이 방출된다.

이 열과 수화열때문에 짙은 류산에 물을 넣으면 발열한다.

류산　　　　이온짝

그러면 산이 왜 에스테르화촉매로서 작용하는가?
C=O결합은 분극되여있고 어느 정도 $C^{+}-O^{-}$의 성질을 가지고있다.

초산과 에타놀반응에서는 초산의 C=O결합의 탄소를 목표로 하여 에타놀의 산소의 비공유전자쌍이 가까워짐에 따라 반응이 시작된다.

류산을 촉매로 넣으면 H^{+}가 C=O결합의 산소와 결합하고 탄소가 +로 되기때문에 에타놀의 산소가 접근하기 쉬워진다.

아래의 그림과 같이 반응경로를 고찰하는것을 반응기구를 고찰한다고 한다.

초산　　에타놀　　초산에틸

제2절. 셀로판테프

고분자화합물을 용매에 녹여서 고분자용액을 만들고 이것을 셀로판에 바르고 건조시키면 상점들에서 판매되고있는 제품에 가까운 셀로판테프를 만들수 있다.

이런 경우에도 에스테르가 용매로서 리용되고있다.

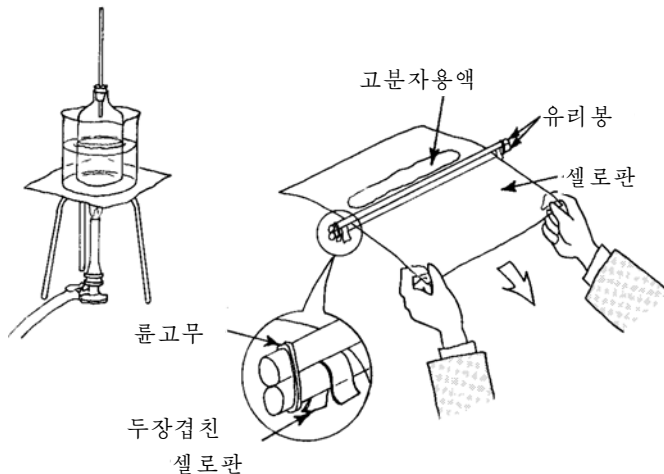
실험 4. 셀로판테프만들기

1. 빈 병에 아크릴산부틸 3mL, 아조비스이소부틸로니트릴아밀(AIBN) 0.02g, 초산에틸 3mL를 넣고 잘 혼합한 후 비석쪼각을 한개 넣고 약 50cm정도의 유리관을 공기랭각응축기로서 설치한 고무마개를 막고 물욕에 설치한다.

2. 가스버너로 빨리 가열시켜 물욕을 끓이고 물이 끓을 때부터 10min간 가열을 시킨 후 밖에 꺼내여 식힌다.

3. 두개의 유리봉의 두끝을 고무고리로 고정하고 두끝에 가까운 부분에 두장겹친 셀로판을 끼운다.

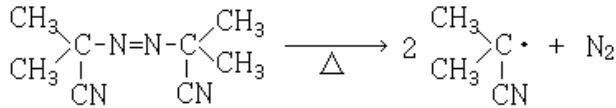
4. 이 유리봉의 중심에 좁게 벤 띠모양으로 자른 셀로판을 끼운다. 이 셀로판우에 우에서 만든 용액의 일부를 올리고 조용히 셀로판을 당겨 용액을 균일한 두께로 편다.

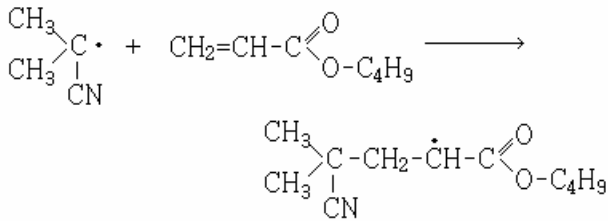
5. 책상우에 펴놓고 자연건조시키면 셀로판테프가 된다.

실험 4의 ①과 ②는 고분자화합물을 생성하고 그 고분자화합물을 용매에 풀어 고분자용액을 만드는 과정이다.

그러면 고분자화합물은 어떻게 형성되는가?

아크릴산부틸반응은 라디칼종합반응이라고 불리우는 반응이다.

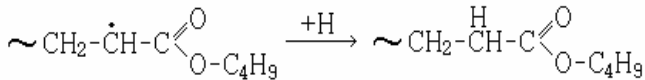
AIBN은 라디칼반응개시제라고 한다. AIBN은 가열하면 라디칼(쌍전자를 가지지 않는 화합물)로 분해된다.

$$(CH_3)_2C(CN)-N=N-C(CN)(CH_3)_2 \xrightarrow{\triangle} 2\,(CH_3)_2\dot{C}(CN) + N_2$$

이 라디칼과 단량체(아크릴산부틸)가 반응하면 아크릴산부틸의 C=C 이중결합이 끊어지고 새로운 라디칼이 생성된다.

$$(CH_3)_2\dot{C}(CN) + CH_2=CH-C(=O)-O-C_4H_9 \longrightarrow (CH_3)_2C(CN)-CH_2-\dot{C}H-C(=O)-O-C_4H_9$$

이와 같이 개시제의 분해와 새로운 라디칼의 형성반응을 개시반응이라고 부른다.

새롭게 형성된 라디칼에 단량체들이 차례차례로 부가하여 탄소수가 증가한 새로운 라디칼을 만드는 반응을 성장반응이라고 부른다.

라디칼이 말단에 수소나 불순물 등이 결합하면 반응은 정지된다.

$$\sim CH_2-\dot{C}H-C(=O)-O-C_4H_9 \xrightarrow{+H} \sim CH_2-CH(H)-C(=O)-O-C_4H_9$$

이 반응을 정지반응이라고 부른다.

우의 방법으로 합성하면 아크릴산부틸이 약 450분자 결합한다. 즉 분자량이 약 6만인 분자화합물이 생긴다.

물론 단일한 분자량을 가진 고분자화합물은 아니고 분자량이 6만보다 작은것도 있고 큰것도 있다.

제3절. 온열주머니

온열주머니는 손쉽게 만들어 실용적으로 널리 리용할수 있는 기구이다.

온열주머니를 리용하면 전기나 가스, 석유를 사용하지 않고도 언제든지 손쉽게 열을 얻을수 있다. 이것으로 몸의 어느 부위나 따뜻하게 할수 있으므로 용기를 쓰기 편리한 모양으로 만들면 몸의 병든 부위를 치료하는 의료기구로도 리용할수 있다.

온열주머니를 간단히 만들어 실험하면서 그 원리에 대하여 고찰해 보자.

실험 5. 온열주머니 만들기

1. 빈 수지물병을 깨끗이 씻는다.

2. 이 용기의 용량의 60%(500g짜리라면 300g)의 초산나트리움결정수화물을 비커에 넣고 가열한다. 절반정도 녹으면 초산나트리움결정수화물의 약 20%정도로 물을 넣고 90~95℃에서 가열한다.

3. 수지물병에 철쪼각을 넣고 2에서 만든 용액을 깔때기를 리용하여 재빨리 넣는다.

4. 용기안의 공기를 몰아내고 마개를 막은 다음 수조에 넣고 수도물을 부어서 서서히 랭각한다.

용기밖에서 용기안에 넣은 철쪼각을 집어꺼내고 변화를 살펴본다.

우에서 만든 온열주머니는 철쪼각을 손으로 집어내면 용기안의 액체가 거침없이 고화되면서 이름그대로 따뜻해진다.

초산나트리움결정수화물은 방온도에서 고체로 가열하면 58℃에서 용해되여 액체로 된다. 이 온도가 초산나트리움결정수화물이 녹음점이며 응고점이다.

실지 온열주머니의 경우는 물을 여분으로 가지고있으므로 응고점은 50~53℃이하이다. 그러나 용해된 초산나트리움결정수화물을 한번 85℃이상까지 온도를 올린 다음 천천히 랭각하면 응고점보다 낮아져도 응고되지 않는다. 이와 같은 상태를 과랭각이라고 부른다.

과랭각은 다른 물질에서도 관찰된다.

실험 6. 물을 랭각할 때의 온도변화

1. 눈약병 등의 작은 수지용기에 증류수를 넣고 온도계를 설치한 고무마개를 막는다.

2. 비커에 얼음과 소금포화용액을 넣고 다시 소금을 좀 더 넣고 잘 혼합한다.

3. 용기안의 물면 (눈약병의 물면)과 비커의 물면이 일치하도록 눈약병을 비커에 넣고 빙빙 돌리면서 랭각하고 온도를 기록한다. 보통 30min 간격으로 온도변화를 관찰한다. 온도변화가 심할 때에는 시간간격을 줄여서 온도를 측정한다.

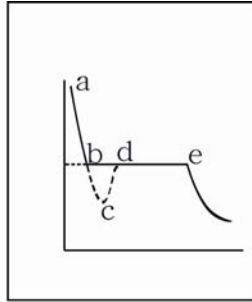



그림 7-1. 온도변화그라프

온도변화그라프는 무엇을 보여주는가?

이 실험에서는 용기안의 온도가 떨어져 외부의 얼음욕온도와 같아질 때까지 용기안의 물질(물)은 열을 빼앗긴다.

그라프의 a-b 에서는 열을 빼앗겨 액체인 물의 온도가 떨어진다는것을 보여준다. 이때 액체상태에서 활발하게 운동하고있는 물분자의 운동에네르기가 감소하며 그 감소분의 에네르기를 열로서 외부에 방출한다.

물의 응고점은 압력 0.1MPa에서 0℃이다. 보통 물이 0℃까지 랭각되면 그 일부가 응고되기 시작한다.(그라프의 b점) 그러므로 응고가 완료될 때까지 온도는 떨어지지 않고 0℃로 유지된다.(b-e) 그러나 응고하는 사이에도 a-b때와 같이 물은 외부에 열로써 에네르기를 방출하므로 액체가 고체로 된다. 다시말하여 액체가 고체로 되는 상태변화는 에네르기방출을 동반한다.

이것이 바로 일반적인 응고열에 대한 설명이다.

그러나 우의 실험을 여러변 반복해도 모든 경우 물은 0℃이하로 되여도 응고되지 않고 (b-c) -5~-8℃정도의 온도에서부터 응고가

시작된다.(c점) 그라프의 b로부터 c까지의 부분에서는 응고점이하의 온도에서 액체상태 그대로 존재한다. 이것이 과랭각상태이다.

과랭각상태로부터 응고가 시작되면 온도는 0℃까지 급격히 올라간다. 그 다음 고체로 완전히 될때까지 온도는 일정하게 되며(d-e) 과랭각이 일어나지 않는 경우와 같다.

이 c-d의 온도상승은 과랭각상태로부터 응고가 급격히 일어나기때문에 응고에 의한 발열이 온도상승으로 되여 나타난것이며 응고가 발열반응이라는것을 명백히 보여주는것이다.

그러면 왜 응고하면 발열하는가?

물질을 구성하는 알갱이들사이에는 끌힘이 작용한다. 알갱이가 양이온과 음이온으로 되여있으면 그것들사이에 정전기적끌힘이 작용하며 분자인 경우에는 자체의 원자핵과 다른 분자의 전자, 자체의 전자와 다른 분자의 원자핵사이에 작용하는 정전기적끌힘에 의한 분자사이끌힘이 작용한다.(그림 7-2)

알갱이들사이에 작용하는 끌힘때문에 불규칙적으로 흩어진 상태로 있기보다는 규칙적인 배렬을 취하는 쪽이 에네르기가 낮은 안정한 상태로 된다.

규칙적인 배렬을 하고있는 알갱이를 흩어져있는 상태로 만들기 위해서는 알갱이들사이에 작용하고있는 끌힘을 끊기 위한 에네르기가 필요하다.

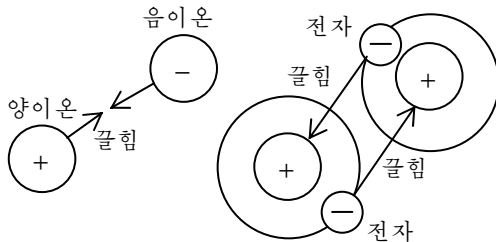



그림 7-2. 알갱이들사이에 작용하는 끌힘

액체상태의 알갱이는 규칙적으로 배렬된 결정상태의 알갱이보다도 에네르기가 높은 상태에 있다. 이 알갱이의 배렬에 관계되는 에네르기는 위치에네르기이며 운동에네르기는 아니다.

결정상태를 1층, 액체상태를 2층이라고 하면 1층부터 2층으로 들어올리는데 필요한 에네르기가 결정으로부터 액체상태로 변하는데 필요

한 에네르기에 해당된다.(그림 7-3)

응고가 천천히 일어나면 불규칙적인 상태에 있는 알갱이가 규칙적인 배렬을 취하게 된다.

이때 감소한 위치에네르기는 열로서 외부에 방출된다.(그림 7-1의 b-e)

알갱이의 운동에네르기는 온도가 올라감에 따라 커지므로 그림 7-1의 세로축은 온도뿐아니라 운동에네르기의 크기도 반영하고있다.

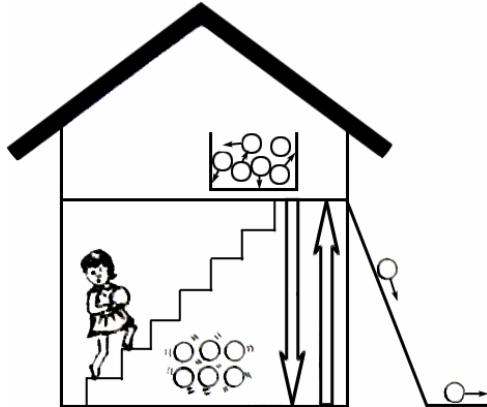



그림 7-3. 위치에네르기

과랭각상태에 있는 물질의 온도는 응고점보다 낮으므로 이 상태에 있는 알갱이가 가진 운동에네르기는 액체상태라고 하여도 결정상태의 알갱이가 응고점에서 가진 운동에네르기보다 작다.

과랭각의 불규칙적인 상태(위치에네르기는 크고 운동에네르기는 작다.)로부터 규칙적인 결정상태(위치에네르기는 작다)에로 변화하는 응고가 짧은 시간동안에 급격히 일어나면 위치에네르기의 감소로부터 방출되는 열의 대부분은 바깥으로 방출되지 않고 물질알갱이의 운동에네르기를 증가시키는데 리용된다.

그 결과 온도가 급격히 올라간다.(그림 7-1의 c-d) 온도가 올라가고 응고점에 도달한 후부터는 운동에네르기의 증가는 일어나지 않고 천천히 열을 바깥에서부터 랭각시켜도 알갱이의 운동에네르기는 증가하지 않으므로 물질의 온도는 변하지 않는다.

응고가 끝나면 위치에네르기의 감소에 의한 열의 방출이 없어지므로 물질의 온도가 떨어지기 시작한다.

그러면 왜 과랭각되며 또한 과랭각은 왜 파괴되는가?

물의 결정(얼음)은 물분자들끼리 수소결합으로 련결되여 그림 7-4의 ㄱ)와 같은 구조로 되여있다.

초산나트리움결정수화물의 구조는 더 복잡하며 그림 7-4의 ㄴ)와 같이 8면체의 중심에 Na^+, 매 구석점에 물과 초산이온의 산소원자가 위치한 구조를 두개 겹친것이 기본단위로 되며 이 기본단위가 8면체의 릉(릉 a와 릉 b)을 공유하는 형식으로 련결된 구조로 되여있다.

응고는 불규칙적으로 운동하고있는 알갱이가 규칙정연하게 배렬된것 즉 결정화된것이다.

불규칙적으로 운동하고있는 알갱이들가운데서 결정구조를 만드는 배렬을 한 알갱이의 모임이 생기면 주변의 알갱이가 거기에 련결되여 결정이 성장하게 되며 곧 눈에 보이는 결정으로 된다.

이 결정화의 최초에 생기는 알갱이의 모임을 결정핵이라고 부른다.

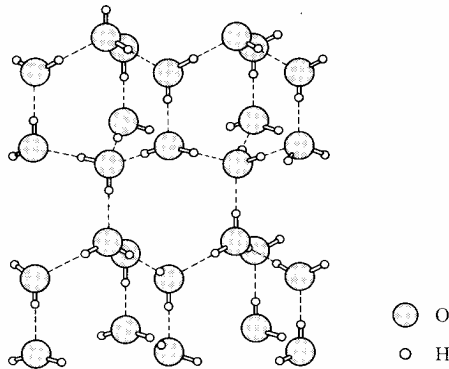
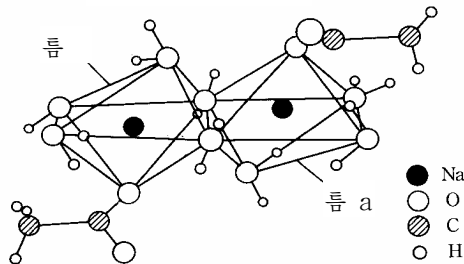



그림 7-4. 물과 초산나트리움결정수화물의 결정구조

결정핵은 액체에 녹아있는 다른 물질(불순물)을 중심으로 하여 생기든가, 용기의 벽면(용기벽겉면은 겉보기에는 매끈해보이지만 현미경으로 자세히 보면 울퉁불퉁하다.)에서 생기든가, 진동 등의 충격에 의해 생기든가 한다.

그러나 액체의 온도를 떨구어 응고점에 도달시켜도 결정핵이 존재하지 않고 아래의 온도에서도 액체상태로 있게 된다. 바로 이 상태가 과랭각상태이다.

초산나트리움의 경우에는 녹음점(58℃)보다 약간 높은 65℃정도에서 가열하여 완전히 녹인 다음 랭각시켜도 과랭각되지 않는다.

그러나 85℃이상에서 가열한 후에 랭각시킬 때는 거의나 과랭각된다.

그것은 65℃정도에서 결정을 녹이면 액체속에 생긴 결정핵의 작용을 하는 이온과 분자가 배렬된 집단이 남아있으나 온도를 더 높이면(85℃이상) 그 배렬이 파괴되므로 그후에 랭각하면 과랭각상태로 된다는것을 보여준다.

학생들은 그림 7-4의 결정구조가운데서 어느 만큼이 결정핵으로서 작용을 할것인가 라는 의문을 가질지도 모른다.

그러나 그 답은 정확히 알려져있지 않으며 앞으로의 연구성과에 기대할 뿐이다.

더우기 철쪼각을 꺼내면 왜 결정핵이 생기는가 하는데 대해서도 현재까지는 알려져있지 않다. 과랭각을 해소시키는데 일반적으로 결정씨를 투입하는것이 많은데 철쪼각과 같은 충격이나 급격한 랭각 등으로도 일어난다.

초산나트리움결정수화물은 온열주머니만이 아니라 태양열이나 밤사이의 여유전력을 축적하기 위한 축열제로서도 주목되고있으며 최근 10여년간 이에 대한 연구들이 진행되고있다.

결정화기구가 더 명백해지게 되면 온열주머니에 거대한 에네르기를 축적하는것과 같은 장치가 만들어지는 날이 올지도 모른다.

온열주머니는 실용적으로 흥미있는 변화를 나타낸다. 원리는 과랭각으로부터 응고에 따르는 발열의 리용이다.

같은 방법으로 손쉽게 열을 얻을수 있으며 쓰고 버리게 된 휴대용열주머니가 있는데 이것은 철이 공기중의 산소에 의하여 산화될 때의 반응열을 리용한것이다.

실험 6. 휴대용 온열주머니 만들기

1. 비닐주머니 (13.5cm×10cm)를 준비한다.

2. 톱밥 2.8g, 활성탄 2.45g을 혼합하고 여기에 소금물(물 7mL+소금 1.75g)을 넣어 물을 흡수시킨다.

3. 비닐주머니에 철분(알갱이의 크기 4.4㎛)말을 넣고 ②에서 준비한 톱밥과 활성탄혼합물을 넣고 비닐주머니를 봉합한다.

4. 봉합한 상태에서 철분말과 보습재(톱밥과 활성탄)가 골고루 섞이도록 잘 혼합한다. 이때 어떤 현상이 생기는가를 관찰하여라.

봉합한 비닐주머니 한쪽면에 바늘로 수십-수백개의 통기구멍(1~50㎛)을 내고 최고온도와 평균온도, 지속시간을 기록하여라.

발열조성물은 철분말에 NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ 등의 금속염화물, K_2SO_4, Na_2SO_4, $MgSO_4$ 등의 금속류산염 그리고 다른 반응도움제로 되는 화합물 즉 물 및 물을 잘 흡수하는 보습재(례하면 활성탄, 실리카겔, 톱밥 등)로 구성되여있다.

온열주머니의 최고온도와 평균온도는 통기도에 따라 다르다.

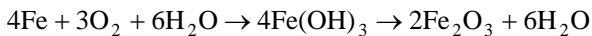
통기도에 따르는 최고온도와 평균온도 표 7-1

통기도/s·100mL	최고온도/℃	평균온도/℃	지속시간/h
8000	55~58	48~52	18~20
6000	60~63	52~53	14~16

일반적으로 금속은 전기적활성차례가 큰 금속일수록 녹쓸기 쉽다.

녹쓸 때의 산화제는 산소이므로 산소가 없으면 녹쓸지 않는다. 산소가 존재할 때 철은 물과도 반응한다. 그러므로 물이 있으면 녹쓸기 쉽다.

산성비나 염분을 포함한 물은 특히 녹을 발생시키기 쉽다.

$$4Fe + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 \rightarrow \underline{2Fe_2O_3} + 6H_2O$$

녹(철의 산화물)

녹쓰는것을 언제나 나쁘다고는 할수 없다.

금속(철)이 녹쓸 때 내는 열을 리용하여 휴대용온열주머니를 만들

어 리용하고있다.

이상에서 본바와 같이 간단한 기구를 만들어 물질들의 변화와 에네르기를 몸으로 느끼게 되면 화학에 대한 흥미를 가지고 화학지식을 보다 깊이있게 습득하게 될것이다.

화학실험의 기초

집 필 리옥진, 김명국, 리광일

심 사 교수 박사 박정수, 손경철, 조한식, 김미란

편 집 황동일, 박경철

그 림 김은옥

장 정 김승옥

콤퓨터편성 김승옥

교 정

낸 곳 교육도서출판사

발행 주체 101(2012)년 8월 18일

교-12-보-551